

TRAITÉ COMPLET
DE
MÉTALLURGIE

PAR

Le Dr J. PERCY
Professeur de l'École des Mines du gouvernement, à Londres

TRADUIT SOUS LES AUSPICES DE L'AUTEUR

AVEC INTRODUCTION, NOTES ET APPENDICE

PAR

MM. E. PETITGAND ET A. RONNA
Ingénieurs

Accompagné de Figures dans le texte

TOME DEUXIÈME

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DU FER
ALLIAGES — DESCRIPTION, ANALYSE, ESSAI DES MINERAIS
TRAITEMENT DIRECT

PARIS ET LIÉGE
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE DE NOBLET ET BAUDRY, ÉDITEURS
A Paris, 15, rue des Saints-Pères
1865

TRAITÉ COMPLET

DE MÉTALLURGIE

Paris. — Typographie Hennuyer et fils, rue du Boulevard, 7.

TRAITÉ COMPLET

DE

MÉTALLURGIE

PAR

LE Dr J. PERCY
Professeur de l'École des Mines du gouvernement, à Londres

TRADUIT SOUS LES AUSPICES DE L'AUTEUR

AVEC INTRODUCTION, NOTES ET APPENDICE

PAR

MM. E. PETITGAND ET A. RONNA
Ingénieurs.

Accompagné de Figures dans le texte

TOME DEUXIÈME

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DU FER
ALLIAGES — DESCRIPTION, ANALYSE, ESSAI DES MINERAIS
TRAITEMENT DIRECT

PARIS ET LIÉGE

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE DE NOBLET ET BAUDRY, ÉDITEURS

A Paris, 15, rue des Saints-Pères

1865

PRÉFACE

En offrant au public la traduction du *Traité de métallurgie* du docteur Percy, nous nous sommes proposé de donner aux industriels, aux ingénieurs, aux directeurs ou propriétaires d'usines, l'ouvrage qui, seul peut-être, réunit d'une façon aussi complète les principes et les méthodes d'application de cette science. Nous avons l'espoir que cette attente ne sera pas trompée.

Le mérite du premier volume et les additions nombreuses de MM. Petitgand et Ronna témoignent suffisamment de la valeur de cette œuvre, entreprise dans un but de haute utilité : nous n'avons pas à y revenir ; mais nous avons à expliquer la marche que nous avons adoptée dans l'édition française.

La description du traitement du fer et de l'acier occupe dans l'ouvrage anglais la plus large place ; son importance et son rôle dans l'industrie moderne justifient les développements que l'auteur lui a donnés ; en France, la métallurgie du fer est presque la seule qui s'exerce sur une grande échelle : les autres métaux n'y occupent quant à présent qu'une importance bien moindre. Ces motifs nous ont engagés à intervertir l'ordre suivi par l'auteur anglais, et nous

avons cru devoir faire paraître sans plus tarder le *Traité de la fabrication du fer*. Il forme dans notre édition les deuxième, troisième et quatrième volumes.

Le SECOND VOLUME, qui paraît aujourd'hui et que suivront bientôt les troisième et quatrième, commence la sidérurgie. Il traite des propriétés physiques et chimiques du fer, de ses alliages et de ses minerais ; enfin, des divers procédés de transformation directe.

La chimie du fer, malgré tous les travaux de date récente, n'a été envisagée jusqu'ici que très-imparfaitement ; quelques principes des plus élémentaires sont confus : entre autres les composés de fer et de carbone. La chimie de l'acier est encore plus obscure ; des problèmes du plus haut intérêt attendent une solution, mais ils exigent la plus grande habileté analytique, et, comme le fait remarquer l'auteur, ils embrassent des vues d'un ordre transcendant. « *L'utile bien considéré* « *a toujours du curieux, et il est rare que le curieux bien suivi ne* « *mène pas à l'utile.* » Cette sage remarque de Réaumur légitime le développement donné, au point de vue des métaux qui seront décrits ultérieurement, à certains chapitres, notamment à celui des combinaisons du soufre avec le fer, et les détails minutieux des travaux analytiques dont les résultats auraient pu être simplement constatés. L'auteur n'est entré dans cette voie qu'après mûre réflexion et en insistant sur les points qui exigent de nouvelles investigations.

Le chapitre des essais, fruit d'une longue pratique, résume les applications de la docimasie aux minerais de fer.

Enfin, le livre consacré à la méthode directe présente une description des plus neuves des procédés de la fonte du fer chez les peuples de l'Asie et de l'Afrique (Inde, Birman, Madagascar, etc.), sans parler des procédés catalan, corse et suédois et de ceux qui ont été

appliqués récemment sous le nom de leurs inventeurs : Clay, Chenot, Renton, Yates, etc.

Le TROISIÈME VOLUME comprend, outre une notice historique, l'exposé pratique de la fabrication de la fonte : construction des hauts fourneaux, des machines soufflantes, des appareils à air chaud; étude des gaz et de leur emploi; des formes, du chargement, de la conduite, du roulement et du rendement des hauts fourneaux, ainsi que des analyses de leurs produits.

Dans le QUATRIÈME VOLUME, divisé en deux parties, l'auteur décrit les procédés de transformation de la fonte en fer par le finage, l'affinage, le puddlage, et de fabrication du fer marchand, de la tôle, etc.; les qualités et les prix des fers; enfin il fait connaître diverses forges et usines de l'Angleterre. La deuxième partie roule sur les méthodes de fabrication de l'acier par la carburation du fer malléable, par la décarburation de la fonte (le procédé Bessemer), par la fusion, etc., sur la fonderie, la manipulation et la résistance des aciers. L'index alphabétique qui terminera ce volume embrassera les trois parties de la Métallurgie du fer.

Les notes et les additions de MM. Petitgand et Ronna ne font pas plus défaut ici (description des minerais de la Grande-Bretagne; des méthodes analytiques de l'Ecole des mines de Londres; des minerais en France, etc.) que dans le volume déjà paru.

L'ouvrage anglais est écrit peut-être un peu exclusivement en vue des procédés suivis en Angleterre; il était nécessaire d'entrer dans des détails plus circonstanciés sur l'art qui, en France et sur le continent, a sa part dans les progrès et les améliorations de l'industrie

métallurgique. Il eût été injuste et inhabile de ne pas les signaler; chaque peuple a des méthodes particulières et des moyens propres, dont la comparaison peut aider à l'essor d'une industrie qui caractérise aujourd'hui la force des nations. L'appendice des traducteurs comblera, au fur et à mesure qu'elles se produiront, les lacunes de l'ouvrage anglais, et présentera pour chaque volume le complément des matières qui y sont traitées.

Chaque partie du traité forme par elle-même un ensemble, et les personnes intéressées dans une branche spéciale de la métallurgie pourront à leur choix se procurer le volume qui y a trait. Il semble toutefois superflu de faire remarquer que les parties d'une science aussi complexe sont liées trop intimement pour qu'il soit facile de les étudier isolément avec fruit.

LES ÉDITEURS.

TABLE DES MATIÈRES

LIVRE PREMIER.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DU FER.



ALLIAGES DU FER.

MINERAIS DE FER.

ESSAIS DES MINERAIS DE FER.

LIVRE II.

EXTRACTION DIRECTE DU FER A L'ÉTAT MALLÉABLE DE SON MINERAI.

APPENDICE.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

MÉTALLURGIE DU FER

LIVRE I.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

Le fer pur, à l'état compacte, a été très-imparfaitement étudié. Plusieurs variétés de *fer forgé* se rapprochent du métal pur, mais toutes contiennent plus ou moins d'impuretés. Toutes les fois qu'on emploiera le mot *fer* sans autre qualification, on entendra parler du fer pur ou du fer forgé. Sous la forme pulvérulente, quand il provient du sesquioxyde de fer chauffé dans l'hydrogène à une température relativement basse, il est de couleur gris terne, mais il acquiert immédiatement un éclat métallique sous le brunissoir. D'après M. Péligot, le protochlorure de fer chauffé dans l'hydrogène se réduit facilement; le métal est alors filamenteux, compacte, malléable et presque aussi blanc que l'argent (1). Berzélius recommande le procédé suivant pour préparer du fer *chimiquement pur* avec le fer forgé du commerce. On fait chauffer pendant une heure, à un feu de forge au coke, dans un creuset de Hesse couvert et bien luté, un mélange de tournures ou copeaux de fer avec 1/5 en poids de sesquioxyde de fer, le tout recouvert de verre pilé exempt d'impuretés métalliques. Le fer ainsi obtenu se rapproche de l'argent par sa blancheur; il est extrêmement tenace, plus doux que le fer en barres ordinaire, à cassure esquilleuse, conchoïde et parfois cristalline (2). Les résultats que nous avons constatés, en répétant ce procédé,

(1) Berzélius, *Rapp. ann.*, 5e année, trad. par Plantamour, p. 76; 1845.
(2) Berzélius, *Traité*, t. II, p. 655.

diffèrent un peu de ceux de Berzélius. En traitant de la même manière, sous du verre pilé, du fil de fer très-fin, coupé en morceaux, nous avons obtenu un culot bien fondu au fond du creuset. Ce culot, entamé par le milieu et brisé, offrait une cassure très-cristalline, de couleur blanc grisâtre; le métal était relativement doux et malléable; une partie martelée, puis laminée à froid en feuille mince, montrait des ébarbures; sa densité, avant le laminage, était de 7.8707, et après le laminage, de 7.865. Ce fer n'était certainement pas pur, car il se dissolvait facilement dans l'acide chlorhydrique ou dans l'acide sulfurique dilué, en donnant lieu à un dégagement d'hydrogène fétide. Broling avait déjà remarqué les mêmes différences de densité : ainsi, du fer en barre dont le poids spécifique était 7.8439, pesait 7.6 après avoir été réduit en feuille très-mince, et 7.75 après avoir été étiré en fil d'un diamètre inférieur à 0^{m}.002 (1). Berzélius fait observer que « ces anomalies sem- « bleraient provenir de la répulsion entre l'eau et la surface « métallique, puisque la densité diminue proportionnelle- « ment à la surface du métal. Cette surface cependant avait « été débarrassée par de la potasse caustique, des matières « étrangères qui pouvaient empêcher l'adhésion du métal et « de l'eau. » Il en conclut que le phénomène est dû au traitement mécanique du métal après fusion. Le poids spécifique du cuivre est également modifié par ce traitement. Le seul fer pur que nous ayons obtenu à l'état compacte, avait été précipité par la pile. M. Henri Bradbury nous a remis de minces lamelles de fer provenant de *l'aciérage* qui consiste à protéger les planches de cuivre gravées par une couverte de fer déposé à la pile, afin qu'elles résistent mieux à l'usure de la presse. La solution contenait du protochlorure de fer et du chlorure d'ammonium (2). Le métal se précipite en faible couche, bril-

(1) Berzélius, *Traité*, t. II, p. 656.
(2) *Spécification*, A. D. 1858, n° 667, au nom de E.-A. Jacquin; communication de M. Garnier, de Paris.

lante et très-adhérente; l'opération étant bien conduite, le dépôt est limité si exactement à la surface du cuivre, et affecte si peu les traits de la gravure, qu'on ne peut distinguer l'impression d'une planche après aciérage de celle de la même planche brute en cuivre. L'éclat du fer précipité est remarquable; on n'a cependant pas réussi jusqu'ici à augmenter l'épaisseur de cette couverte en lui conservant son poli. On a recours pour cette application à une solution de fer contenant du cyanure de potassium. Nous avons fait sur le fer ainsi précipité de nombreux essais dont le détail trouvera place plus loin. A la température ordinaire, l'acide chlorhydrique ou sulfurique ne l'attaquent pas sensiblement; mais à une douce chaleur, il se dissout en dégageant de l'hydrogène qui n'exhale pas la moindre odeur fétide. Barruel rapporte que du fer galvanique conservé pendant bien des années dans une armoire où il se formait constamment des vapeurs acides, ne présentait pas la trace la plus légère de rouille (1).

D'après nos expériences, le fer déposé se rouille promptement sous l'influence de l'air humide. M. Matthiesen croit avec raison à une plus grande conductibilité électrique du fer galvanique que de toute autre variété du commerce. Il est susceptible d'un très-beau poli; la surface brunie est d'un blanc grisâtre : sa densité est de 8.1393. Nos échantillons étant de petites dimensions et très-minces, la détermination de la densité exigea des soins particuliers. M. Smith a fait six déterminations sur divers fragments; celle qui a été citée est la plus exacte. Dans les autres essais, les extrêmes avaient été 7.9405 et 8.107. Le morceau qui donna 8.1393 avait $0^{m}.03$ de long et $0^{m}.018$ de large. A l'air, il pesait $0^{gr}.39$, et dans l'eau $0^{gr}.33$; on le fit bouillir pendant une heure et demie dans l'eau, où il se refroidit, et on le pesa exactement à la température de $15°.5$ C. La malléabilité du fer déposé par la pile ne souffre pas d'un refroidissement subit après avoir été soumis à une forte cha-

(1) *Traité de Chimie technique*, etc. Paris, t. III, p. 21; 1857.

leur. Des lamelles plongées au rouge dans du mercure ne durcissent pas et ne deviennent pas moins flexibles; nous ne nous rappelons pas qu'un seul échantillon de fer du commerce, en feuilles les plus minces, ait résisté à ce traitement sans durcir sensiblement et sans devenir plus rigide.

Le fer se précipite dans une solution d'un sel de protoxyde, tel que le protochlorure ou le sulfate ; la présence du chlorure d'ammonium serait essentielle, dans ce cas, pour obtenir une surface lisse, polie et d'un aspect aciéreux. Sous l'influence d'un courant très-énergique, il s'échappe beaucoup d'hydrogène, et le métal précipité, vu sur une certaine épaisseur, paraît poreux et spongieux. Si après l'avoir lavé, on le fait sécher sur de la potasse caustique, il exhale pendant très-longtemps une forte odeur d'ammoniaque; au rouge, l'odeur d'ammoniaque augmente, puis disparaît; bouillie dans de l'eau, la poudre du précipité laisse dégager abondamment de l'hydrogène. M. Meidinger pense que le fer précipité est combiné avec une très-petite quantité d'azote, et produit un alliage aciéreux; il a constaté la présence de 1.5 pour 100 au plus d'ammonium dans un échantillon sentant fortement l'ammoniaque. M. Kramer a trouvé 1.49 pour 100 d'azote dans un précipité identique; le fer ressemblait par ses caractères physiques à du fil de fer exposé au rouge à un courant ammoniacal (1). Ces assertions sont peut-être correctes, mais elles méritent confirmation.

Cristallisation. — Le fer cristallise dans le système cubique. Wöhler a décrit des cristaux de fer cubiques et octaédriques, obtenus artificiellement : ceux-ci tapissaient les cavités d'un gros cylindre de laminoir en fonte; ceux-là avaient été retirés de la cassure de plaques de fonte chauffées pendant longtemps au rouge blanc dans le massif d'un haut fourneau (2). M. Augustin a remarqué des cubes distincts sur la surface de cassure

(1) *L. u. K. Jahresb.*, p. 304 et 305; 1861.
(2) Berzélius, *Jahresb.*, t. XIII, p. 116.

de canons de fusil depuis longtemps en usage (1). Nous possédons des octaèdres solides d'assez grandes dimensions et assez nets, ainsi que des octaèdres évidés en fonte de fer. M. Faraday nous a remis un petit morceau de fer en barre, laminé, presque cylindrique et longtemps chauffé dans un pot de verrerie : il est très-cristallin et offre sur sa plus grande surface des traces très-nettes d'octaèdres évidés. Nous sommes également redevable à M. Sopwith d'un autre échantillon de fer méplat, ayant séjourné dans un pot de verrier; sa cassure est très-cristalline et brillante; une fissure distincte traverse longitudinalement la cassure, mais elle n'est pas tout à fait au centre; les plans de clivage sont perpendiculaires à la surface extérieure, qui est recouverte d'oxyde noir, sauf sur quelques points, où le métal est d'un éclat et d'une blancheur qui rappellent l'argent. Contrairement à l'échantillon précédent, la surface n'est pas du tout cristalline, bien que couverte d'empreintes hexagonales très-déliées qui feraient croire à une structure en colonnes. Nous avons examiné des échantillons de fer Bessemer, dont la cassure est très-cristalline. M. le professeur Miller, de Cambridge, nous apprend que ce fer consiste en un agrégat de petits cubes. « Les cristaux, ajoute-t-il, sont « très-imparfaits, comme on doit s'y attendre, puisqu'ils n'ont « pas de place pour développer leurs faces; je crois toutefois « qu'il n'y a pas le moindre doute quant à leur forme; j'en ai « mesuré quelques-uns dont les angles ont 90°; ils appartien- « nent, par conséquent, au système cubique. » Nous avons lieu de penser que les cristaux examinés par M. Miller étaient exempts de carbone; on pourrait objecter néanmoins que ces observations s'appliquent à du fer impur; or, il est permis de répondre à cette objection que la proportion de matière étrangère, par rapport à celle du fer, est insignifiante, et qu'il n'y a pas à notre avis, d'exemple d'altération dans le système cristallin d'un métal, que l'on puisse attribuer à la présence d'une

(1) *L. u. K. Jahresb.*, p. 281; 1847.

quantité relativement aussi minime de matières étrangères.

M. Poumarède affirme que le protochlorure de fer est réduit par la vapeur de zinc à l'aide du carbone, et que le fer mis en liberté sous la forme dendritique, et souvent de tétraèdres creux, a une densité de 7.84 (1).

M. Fuchs a émis l'opinion que le fer est dimorphe et qu'il cristallise dans les systèmes cubique et rhomboédrique; mais ses arguments à l'appui de cette opinion ne sont pas convaincants; il admet que le fer malléable appartient au système cubique. Il n'y a guère de doute sur ce point, bien que M. Fuchs ne puisse pas le conclure par analogie et en s'appuyant sur ce fait que « tous les autres métaux malléables cristallisent dans ce sys« tème; » car, le zinc, qui est sans contredit un métal malléable, appartient au système rhomboédrique, et le composé métallique de titane qui se forme sur les soles des fourneaux, est cassant et cristallise pourtant dans le système cubique. M. Fuchs suppose que la fonte de fer appartient au système rhomboédrique, et que l'acier consiste en un agrégat de cristaux cubiques, dont la proportion dans le mélange varie suivant *la trempe;* les cristaux rhomboédriques prédominent dans l'acier trempé dur, et les cristaux cubiques augmentent proportionnellement à la douceur du métal. « Les deux variétés de fer dans « l'acier peuvent être regardées comme à l'état de tension « constante, ce qui explique peut-être pourquoi l'acier retient « d'une manière permanente le magnétisme transmis, tandis « que le fer malléable ne le retient pas (2). »

Magnétisme. — Le fer est fortement attirable à l'aimant, mais à l'état de pureté il perd promptement la faculté magnétique développée par induction. M. Matteucci a reconnu qu'une perle de fer fondu au chalumeau à gaz oxyhydrogène était attirée par l'aimant (3).

(1) *L. u. K. Jahresb.*, p. 281; 1847.
(2) *Chemical gazette*, t. XI, p. 94; 1853.
(3) *L u. K. Jahresb.*, p. 255; 1853.

Ténacité.—Nous ne croyons pas que la ténacité du fer *pur* ait été déterminée. Le fer du commerce jouit d'une ténacité variable suivant la nature et la quantité de matières étrangères incorporées, suivant sa structure interne, le diamètre des tiges éprouvées, la température, etc. ; les ingénieurs désignent ordinairement la ténacité sous le nom de *force de tension* ; dans le but de comparer cette force, ils la calculent toujours en la rapportant à un millimètre carré de section. Ce sujet est des plus importants pour l'art des constructions ; et cette étude trouvera mieux sa place à la fin de ces volumes, quand nous aurons passé en revue les divers modes de fabrication du fer et les matières étrangères que l'on rencontre dans les variétés du commerce. D'après M. Dufour, la ténacité du fer augmente dès qu'il est traversé par un courant électrique. Ainsi un fil de $0^m.009248$ de diamètre, supportant 2545 kilogrammes, pouvait, après la transmission pendant 463 heures d'un courant fourni par une pile Bunsen, en supporter 2898 (1).

Chaleur spécifique.—M. Regnault l'a fixée à 0.113795 (2), sur un fil de $0^m.003$ de diamètre, extrêmement doux et ne laissant aucun résidu par sa dissolution dans l'acide chlorhydrique. Le même fil, chauffé au rouge blanc et décapé avec l'acide chlorhydrique a donné le même résultat numérique. Dans cinq essais, les extrêmes furent 0.11284 et 0.11398.

DILATATION PAR LA CHALEUR (3).

	Nature du fer.	Noms des observateurs.	Coefficient.
Linéaire.	Fer doux forgé.	Lavoisier et Laplace.	0.000012204
	— rond étiré.	— —	0.000012350
	—	Smeaton.	0.000012583
	— forgé fondu.	Roy.	0.000011100
	Fil de fer *étiré*.	Troughton.	0.000014401
Cubique	. . . .	Kopp.	0.000037 (4)

(1) *L. u. K. Jahresb.*, p. 65 ; 1855.
(2) *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. LXXIII, p. 37 ; 1840.
(3) Jamin, *Cours de Physique*, t. II, p. 374 à 382 ; 1859
(4) *L. u. K., Jahresb.*, p. 55 ; 1851.

Action de la chaleur. — Soudure. Le fer exige pour fondre une très-haute température. Son point de fusion n'a pas encore été déterminé avec exactitude ; Pouillet l'a évalué à 1.550° C., ce qui est discutable. Nous n'éprouvons aucune difficulté à le fondre complétement dans nos fourneaux d'essai où le platine est infusible. Le fer jouit d'une propriété remarquable et très-importante : il reste mou et pâteux à une température bien inférieure à son point de fusion. Il est assez mou au rouge vif pour être facilement forgé, et assez pâteux au rouge blanc pour que deux morceaux pressés l'un contre l'autre ne fassent plus qu'un ; c'est ce qui a lieu dans le *soudage* du fer. Les métaux, en général, passent *rapidement* de l'état solide à l'état fluide, et loin d'être pâteux ou adhérents à la température de fusion naissante, ils sont extrêmement cassants et parfois friables.

En supposant qu'il y ait une température spéciale à laquelle chaque métal devient pâteux, l'écart est si limité pour les métaux usuels, qu'il serait à peu près impossible de fixer avec certitude ce degré de température; cela serait-il possible, la durée serait trop courte pour qu'on puisse accomplir les opérations nécessaires au soudage. Il y a du reste une autre circonstance dont il faut tenir compte : pour que deux surfaces de métal s'unissent par le contact, il est indispensable qu'elles ne soient pas recouvertes de substances infusibles telles que l'oxyde des battitures dû à l'oxydation du fer. En chauffant le fer à la température de soudage, cet oxyde des battitures se convertit, dès qu'on a projeté un peu de sable, en un silicate de protoxyde très-fusible et liquide : la soudure ne peut s'effectuer qu'avec des surfaces métalliques bien nettes, lorsque le silicate a été enlevé pendant l'opération. Il n'y a pas de forgeron qui n'ait recours au sable comme flux; mais dans le cas d'autres métaux usuels, il ne serait pas très-facile, ni même possible, de trouver un flux convenable et d'assurer cette condition essentielle.

Il a été avancé que le fer entièrement privé de carbone, ou

à peu près décarburé, pouvait à peine, ou du moins, très-imparfaitement se souder (1). On cite comme exemple le fer soi-disant *brûlé* que connaissent les personnes familiarisées avec le forgeage. Bien que nous réservions l'examen de cette variété de fer très-connue, admettons pour la discussion que cette singularité soit due à la cause assignée plus haut, et recherchons si cette cause est compatible avec la théorie qui explique que ce fer n'est pas soudable. D'après la théorie de M. Scheerer, — si nous en saisissons bien le sens, — le carbone réduit instantanément toute couche ou pellicule d'oxyde de fer non fondu, à la surface de contact des deux morceaux de fer portés au rouge blanc ; si cette pellicule persistait, elle empêcherait évidemment la soudure. Quiconque a surveillé attentivement l'opération du soudage, acceptera difficilement, croyons-nous, cette explication. Les deux morceaux de fer, quoique chauffés au milieu de charbons incandescents et très-rapidement juxtaposés, sont invariablement revêtus, au moment du contact, d'une couche épaisse d'oxyde. Un morceau de fer soumis au degré de chaleur de soudure ne peut être exposé un instant à l'atmosphère sans en être recouvert ; de sorte qu'en supposant qu'il ait une surface métallique bien nette tant qu'il est au feu, il aurait amplement le temps de s'oxyder superficiellement en le portant sur l'enclume.

L'oxyde, à la température de soudure, est liquide ou solide ; s'il est liquide, on sait que la soudure peut s'effectuer par le départ de l'oxyde fondu, et il n'y a pas lieu de recourir à l'action réductrice du carbone dans le fer ; mais si l'oxyde n'est pas liquide, la soudure ne peut s'effectuer, quoique le fer contienne du carbone.

Le fer soi-disant *brûlé* est très-cristallin (nous en expliquerons les raisons plus loin), et on ne peut le forger sans dès précautions spéciales. Il n'est pas prouvé que cela tienne

(1) Scheerer, *Lehrb. d. Metall.*, t. I, p. 553.

à l'absence du carbone, mais plutôt peut-être à sa structure intérieure particulière. Le fer *brûlé* qui, à la vérité, présente une cassure d'une apparence cristalline analogue à celle de quelques variétés de galène, peut être avec quelques soins forgé en barres; ces barres offriront à leur tour une cassure fibreuse sur toute la surface. Mais on ne peut forger ce fer exactement dans les mêmes conditions que le fer en barre ordinaire, et un métal qu'on ne peut bien forger, ne peut être également bien soudé; cependant un forgeron n'hésitera pas, quand un fer a besoin pour être martelé de précautions inusitées, à dire qu'il ne peut se forger ni se souder. Ainsi, l'impossibilité du soudage causée par la particularité de la structure intérieure, semble avoir été attribuée à tort à la pénurie ou à l'absence complète de carbone.

Les expériences suivantes faites par M. Riley, aux usines de Dowlais, démontrent que du fer très-cristallin peut se souder. On coupa en morceaux de 2 1/2 centimètres carrés de la tôle de fer connue sous le nom de *tôle noire*, et on les fondit dans un creuset avec des scories provenant d'essais de minerai de fer. On retira, sous une couche de scories d'un vert foncé, un culot de fer bien fondu, lisse et uni, qui pesait 102 grammes. On essaya de le couper avec un ciseau à froid, et on brisa le culot; la cassure était très-cristalline dans le sens du plan de clivage des cristaux. Moitié de ce culot fut forgée par un ouvrier, en une barre de 1 1/2 centimètre carré. Le fer était très-doux, d'une belle venue et avec des arêtes vives comme l'acier; deux morceaux furent soudés ensemble; le fer se travaillait bien à la température de soudage, mais en se refroidissant, il se criquait et se rompait; la cassure du fer qui n'avait pas été exposé au degré de chaleur de soudure, était très-soyeuse, et on pouvait le plier en deux sans le fendiller; le forgeron déclara que c'était un des fers les plus durs qu'il eut travaillés. M. Riley répéta ces épreuves et en tira cette conclusion : « La nécessité de mettre au rebut du fer soumis à la

« chaleur de soudure, paraît être, d'après ces expériences, le « trait spécial du fer forgé fondu. Les essais n'ont pas été « poussés assez loin pour permettre d'en assigner les motifs; « cela peut provenir de l'absence d'une petite quantité de « carbone que le fer forgé contient ordinairement. » M. Riley croit qu'il n'existe pas de carbone dans le fer Bessemer, et pourtant il se soude, bien que imparfaitement.

Nous ne connaissons rien du travail du fer chimiquement pur, et rien ne prouve qu'il n'est pas soudable; au contraire, les raisonnements *à priori* et les faits avancés semblent justifier la conclusion opposée. Il est possible que la présence d'une *très-petite* portion de carbone améliore beaucoup les qualités du fer pour le travail, et l'on sait combien la malléabilité du cuivre est fortement affectée par la présence de très-petites quantités de certaines matières étrangères. Si l'on démontrait cependant d'une manière évidente que la qualité du fer pour la soudure est provoquée par la présence d'un peu de carbone, le mode d'action que M. Scheerer attribue à cet élément ne saurait être admis sans une preuve palpable.

Il convient d'ajouter ici que le platine qu'on considère comme un métal soudable et que par ce motif on classe généralement avec le fer, passe très-rapidement de l'état solide à l'état fluide; et lorsque l'on a fondu en notre présence, chez MM. Johnson et Matthey, une centaine de kilogrammes de platine au moyen de l'oxygène et du gaz d'éclairage, nous avons été frappé de la grande fluidité du métal immédiatement après sa fusion. Le cuivre à l'état divisé, comme lorsqu'il a été précipité, adhère et forme une masse solide sous une forte pression; des médailles de cuivre ont été fondues, d'après ce principe, par Ozann. On peut convertir de la même manière en une masse métallique compacte l'or et l'argent à l'état de poussière fine. On chauffe doucement, puis on comprime; on forge et on réchauffe alternativement de la poudre d'argent produite par la décomposition du chlorure d'argent avec le zinc, etc., la température étant

toujours sensiblement au-dessous du point de fusion de l'argent. M. Fournet parvint ainsi à fabriquer des barres qu'on pouvait forger comme des barres fondues. Il obtint encore des barreaux damasquinés, avec de la poudre d'or et d'argent en couches successives. M. Fournet regarde cela comme une véritable soudure, c'est-à-dire comme l'union de deux métaux à une température inférieure à leur point de fusion ; l'adhésion solide qui s'opère entre deux surfaces de plomb fraîchement coupées que l'on presse simplement l'une contre l'autre, n'est, selon lui, qu'une soudure (1). C'est peut être à la vérité une question de température, et l'on devrait regarder comme identique avec le soudage du fer la conversion en une masse compacte, d'une poudre métallique telle que celle de platine spongieux, que l'on comprime à la manière ordinaire, et que l'on chauffe successivement au-dessous du point de fusion.

On volatilise le fer à des températures très-élevées, telles que celles produites par l'électricité voltaïque ou par la combustion du métal dans l'oxygène (*).

FER CRISTALLIN ET FIBREUX.

Après fusion, le fer est très-cristallin; un petit culot pesant seulement $0^{gr}.30$ ou $0^{gr}.60$, présentera sur sa cassure des plans brillants de clivage et sa surface offrira des mar-

(*) *Perméabilité du fer.* — Le fer est *perméable* aux gaz à une haute température, et contrairement à l'usage, il devra être exclu des appareils clos et destinés à subir l'action d'une température élevée ; c'est ce qu'ont démontré les expériences récentes de MM. H. Sainte-Claire Deville et Troost, basées sur la méthode déjà employée par l'un d'eux pour rechercher les propriétés endosmotiques des corps poreux. Le vide presque complet étant fait dans l'intérieur de l'appareil imaginé par M. Deville, et maintenu au rouge, l'hydrogène traverse les parois de tubes en acier fondu, étirés à froid et sans soudure — sur une épaisseur de 3 à 4 millimètres, — malgré la pression atmosphérique. (*Comptes rendus*, t. LVII, p. 965.) (*Note des Traducteurs.*)

(1) *Sur la soudabilité des métaux et sur le damassé d'or et d'argent*, par M. Fournet, *Ann. de Ch. et de Phys.*, t. LXXIV, p. 435; 1840.

ques distinctes de cristallisation lorsqu'il sera lentement dissous par les acides chlorhydrique ou sulfurique dilués; cette corrosion n'est pas provoquée, comme on le supposerait, par l'interposition de matières étrangères répandues symétriquement dans la masse. On peut citer beaucoup d'exemples du développement apparent de structure par l'action des dissolvants. Dans tous les cas, la structure cristalline préexiste, et l'attaque de l'acide la rend seulement manifeste. On a remarqué que le même dissolvant attaquait avec des degrés différents les faces d'un même cristal; le professeur H. Rose nous apprit, il y a longtemps, qu'on en avait un exemple parfaitement tranché dans les cristaux de quartz exposés à l'acide fluorhydrique; mais il agit avec la même intensité sur des faces symétriques. Or, ce qui est vrai pour du quartz rhomboédrique peut ne plus être vrai pour du fer cubique, à moins que les cristaux de ce dernier ne présentent des faces originales et dérivées, comme dans le système cubo-octaédrique. La cristallisation du fer a vivement préoccupé les ingénieurs; quoiqu'on en ait beaucoup parlé et longuement disserté, il n'existe pas moins une grande confusion à ce sujet; des recherches minutieuses tendraient sans doute à l'élucider. Le fer en barre acquiert une structure très-cristalline en restant exposé à une température qui, bien que élevée, est très-inférieure au point de fusion du métal; avec une certaine somme de chaleur, les molécules deviennent assez libres pour s'arranger d'elles-mêmes en cristaux. On en a un exemple très-frappant dans le recuit des tôles de zinc à une température inférieure, mais sensiblement rapprochée du point de fusion du métal (1).

(1) On montrera ailleurs qu'on peut réduire un lingot de ce métal très-cristallin, dans certaines conditions spéciales de température, en une feuille mince, flexible à un haut degré, sans le rompre, et qu'on peut le plier en avant et en arrière sans qu'il rende le même son de cassure que l'étain soumis à pareille épreuve. Mais en exposant cette feuille à une température sensiblement au dessous du point de fusion du zinc, elle devient très-cassante, fait entendre des craquements en se pliant et se rompt avec une cassure très-cristalline. Il faut donc que les molécules aient été suffisamment indépendantes, même quand le métal était encore *solide*, pour que les forces de la cristallisation agissent après coup et reproduisent une structure très-cristalline.



On comprend donc aisément pourquoi le fer, qui a été chauffé souvent et fortement, ou bien forgé en masses, et qui doit nécessairement avoir été soumis pendant un long espace de temps à une température élevée, tend à acquérir une structure très-cristalline. L'opération du martelage du fer, tandis qu'il est chauffé fortement, ou pendant son refroidissement à un certain degré, aura une action sur les forces qui déterminent l'arrangement cristallin et devra tendre à diminuer le volume des cristaux; mais dans le cas de grandes masses, il sera difficile d'atteindre le métal beaucoup au-dessous de la surface, à moins d'employer des marteaux très-lourds et d'appliquer des coups vigoureux, et même alors on a peine à comprendre que l'uniformité dans la dimension des cristaux puisse se produire dans toute la masse. En effet, lorsque l'extérieur est refroidi jusqu'au rouge, l'intérieur doit être encore à un degré de température très-élevé, et peut être au rouge blanc; de sorte qu'en se refroidissant davantage, après le martelage, les molécules d'une partie de la masse seront à même de prendre une structure bien plus cristalline que celle de toute autre partie. C'est ce qui constitue la difficulté du forgeage en grand, et on ne saurait l'éviter en continuant à frapper au marteau, jusqu'à ce que le métal de l'intérieur soit assez refroidi pour y empêcher la formation des grands cristaux, car si l'on forgeait le métal extérieurement à une température trop basse, comme cela aurait lieu dans cette supposition, il deviendrait mou et cassant. On devra se rappeler que ces observations ont trait au fer, et non à l'acier ni au fer qui renferment une portion notable de carbone. Quant à la dimension des cristaux, il convient d'indiquer que la présence du phosphore favorise la formation de grands cristaux; cet élément existe dans la plupart des variétés de fer fabriquées en Angleterre. Le refroidissement rapide des grosses pièces forgées, immergées dans l'eau, tend à rendre l'intérieur moins cristallin.

Lorsqu'on bat le fer à froid sur diverses faces, les cris-

taux dont il se compose se désagrégeront évidemment plus ou moins, et, par suite, la résistance du métal diminuera : plus les cristaux sont grands, plus le fer se rompra facilement ; car la cassure, se produisant dans le sens de la moindre résistance, qui est celle des plans de clivage et des plans de jonction des cristaux contigus, sera facilitée en raison même de l'étendue de ces plans. Nous possédons des culots de fer fondu où les cristaux sont si grands, que les plans de clivage traversent de part en part la surface de cassure. D'ailleurs, quand les cristaux sont relativement petits, ils sont pour ainsi dire plus enchevêtrés ; il n'existe pas de grands plans de clivage, et la tendance à la cassure est moindre. Que ces considérations soient justes ou non, il est avéré en pratique que la grosseur des cristaux du fer en barre indique sa propension à la cassure. Comme exemple de l'effet du martelage à froid sur le fer, nous donnons le résultat suivant des essais que notre ami M. S. H. Blackwell, de Dudley a faits à notre requête : un cylindre de fer solide, faisant partie d'un essieu de $0^{m}.46$ de long et de $0^{m}.09$ de diamètre, fut martelé à froid, sous un marteau de 3 000 kilogrammes, en le soumettant d'abord à vingt coups sur le côté ; puis, l'ayant suspendu, on continua à le frapper, à l'extrémité opposée, quatre-vingts ou quatre-vingt-dix fois ; on le forgea ensuite sous un marteau plus lourd, d'environ 4 500 kilogrammes, et on le rompit au bout de dix à douze coups, sous une hauteur de $0^{m}.70$. La cassure était cristalline ; mais un morceau forgé avec une autre partie du même essieu et ployé sur une *courbe* aiguë et sous une pression hydraulique de 12 000 kilogrammes, présenta une cassure fibreuse.

Lorsqu'un morceau de fer fondu, très-cristallin, est martelé avec précaution, à une température convenable, sous une forme propre au laminage, puis laminé en barre peu épaisse, il offre une cassure fibreuse ou cristalline, suivant la manière de le rompre, et surtout suivant la durée de l'opération. Si on l'entaille d'un côté, à une légère profondeur, avec un

ciseau à froid, puis qu'on le ploie lentement en arrière de la ligne de l'entaille, la cassure est très-fibreuse et parfois soyeuse. D'autre part, qu'on le burine tout autour et qu'on le casse brusquement sur la ligne de l'entaille, la cassure sera cristalline et n'offrira des indices de fibre que par places. Les cristaux, par l'opération du laminage, sont étirés pour ainsi dire *dans une direction unique*, et la barre qui en résulte est, par cette raison, composée de paquets de fils parallèles et continus; mais la structure cristalline n'est pas détruite pour cela, les cristaux ayant été simplement allongés; et conséquemment toute barre, même la plus petite, devra, par une brusque rupture transversale, présenter une structure cristalline dont l'aspect se révélera suivant que les cristaux auront été plus ou moins étirés ou, en d'autres termes, suivant le degré du laminage. Les mêmes résultats se produisent par l'étirage; la cassure du plus petit fil, si elle s'est opérée brusquement, devra être cristalline, bien que le grain soit à peine visible. Le temps a la plus grande influence sur l'aspect de la cassure; si elle est instantanée, le métal n'ayant pas eu le temps d'exercer ses propriétés de ductilité, elle sera nécessairement cristalline; le contraire ayant lieu, comme lorsqu'il s'agit de ployer une barre pour la briser, les cristaux, par suite de la ductilité du métal, éprouvent sur la face convexe une action identique à celle de l'étirage, et tendent à développer l'aspect fibreux de la cassure. On a montré toutefois que, dans toute barre laminée, les fibres préexistent sous la forme de cristaux allongés. Il en résulte que la cassure fibreuse d'une barre de fer laminé est due en partie à l'opération de la courbure et en partie au laminage.

On peut rendre apparente la structure d'une barre de fer laminé, en l'attaquant par les acides, de la même manière et par les mêmes raisons qu'on accuse la structure cristalline d'un morceau de fer fondu. Pour une barre de fer laminé ordinaire, il y a dans l'attaque aux acides, comme on l'expli-

quera plus loin, une autre cause qui favorise l'apparition de la fibre. Ces barres, en effet, renferment toujours du silicate de protoxyde de fer qui s'allonge pendant le laminage en même temps que le fer; comme les acides n'agissent pas avec la même intensité sur le silicate et sur le fer métallique, il est clair que leur action dissolvante donnera naissance à l'aspect fibreux. Le silicate, étant parfois irrégulièrement disséminé dans la masse, occasionne, sous l'influence des acides, des irrégularités; d'où il résulte des sillons profonds et des cavités dans la face examinée.

Dans des essais pratiqués pour déterminer la meilleure qualité de fer pour plaques de blindage, on a obtenu à Shoeburyness des démonstrations de la vérité de cette théorie quant à l'influence du temps sur le caractère de la cassure. Du fer reconnu pour du bon fer nerveux a présenté une cassure cristalline sous le choc d'un boulet lancé à la vitesse de 360 à 480 mètres par seconde; cependant, dans quelques cas, la portion de la plaque frappée s'est brisée en miettes, comme du verre.

On s'est naturellement demandé si de légères vibrations, résultant de petits chocs fréquemment répétés, ou de vibrations sans choc causées par l'action d'un frottement dur, comme dans le travail des essieux sur des paliers mal graissés, ou par l'allongement et la torsion des arbres, etc.; en un mot, si des vibrations beaucoup moins fortes que celles produites par le martelage ne tendraient pas à désagréger d'une manière permanente les cristaux de fer, et par conséquent à rendre le métal plus mou. Cette question de l'emploi industriel du fer, soit comme chaînes dans les puits de mines, soit comme matériel des chemins de fer, est de la plus haute importance au point de vue de la sécurité des ouvriers et des voyageurs. Les opinions sont partagées, et nous ne connaissons pas de faits assez certains pour justifier un avis concluant. On cite des cas où la vibration a développé la propriété permanente de friabilité; mais nous ne croyons pas nous tromper en ajoutant

que, dans la plupart de ces cas, le fer dont on avait ainsi constaté la moindre résistance n'a pas été convenablement examiné et essayé.

On peut attribuer à la vibration des altérations physiques du fer dues en réalité à des pailles préexistantes et ignorées. On sait très-bien que la vibration peut modifier notablement la structure de certains alliages métalliques et les rendre très-cassants; dans le traité du cuivre, nous mentionnons des exemples remarquables de ces modifications. Mais on objectera que les alliages ne peuvent pas se comparer à un métal simple, et que l'action due à une vibration légère, mais suffisamment répétée sur les alliages, n'explique en aucune manière l'effet de la même vibration répétée sur le métal isolé. Il n'y a que des essais attentifs qui puissent permettre de répondre à cette objection; il paraît toutefois raisonnable d'admettre qu'un métal, comme le fer, se modifie dans les conditions indiquées. L'expression *vibrations légères* est très-vague, et comprend des degrés très-différents de choc; or, des différences d'intensité de choc relativement faibles, surtout aux températures peu variables de l'atmosphère, peuvent causer des effets très-importants. Les accidents fréquents dus à des ruptures de pièces en fer sur les chemins de fer, pendant le froid exceptionnel de quelques hivers, confirment cette opinion. On a démontré clairement, d'ailleurs, que la ténacité du fer varie considérablement, à des températures assez rapprochées. Il est donc désirable que ce sujet soit étudié avec soin par les Sociétés des ingénieurs civils (1).

Il reste encore à examiner si les vibrations causées par le choc ou autrement peuvent produire un arrangement moléculaire cristallin qui n'existait pas antérieurement ou qui n'était qu'imparfaitement développé. Nous n'avons trouvé aucune preuve de ce fait; mais nous avons constaté que le fer après fu-

(1) La Société des ingénieurs civils, à Paris, a traité avec quelques développements des transformations moléculaires que les pièces de fer peuvent subir en service et à l'usage. Consulter à ce sujet les *Comptes rendus des séances* des 2 et 16 avril 1852.

(*Note des traducteurs.*)

sion, ou après avoir été soumis à des températures assez élevées pour le rendre mou et pâteux, consistait en un agrégat de cristaux. Pendant le laminage ou l'étirage, ces cristaux s'allongent, mais ne sont pas détruits; on peut toujours les faire reparaître par une brusque cassure. Or, lorsqu'une barre devient cassante à froid, sous le marteau, il n'y a pas de raison de supposer que ce soit dû au développement actuel de la structure cristalline; le relâchement ou la désagrégation des cristaux qui composaient la masse première suffit amplement pour expliquer la propriété cassante. Que la même barre ait été brisée avant le martelage, dans des conditions spéciales, de manière que sa ductilité ait eu le temps d'agir, elle aurait présenté une structure nerveuse, au lieu d'une structure à grain.

En négligeant d'établir le rapport essentiel entre le caractère de la cassure et le mode particulier qui a produit cette cassure, on a été porté à conclure que la cristallisation du fer provenait du traitement mécanique du métal, tandis qu'en réalité la structure cristalline préexistante n'a été rendue plus manifeste que par la cassure, subordonnée à la propriété cassante que développe le traitement.

L'ouvrage récemment publié par M. David Kirkaldy, sur la ténacité ou, comme on dit maintenant, sur *la résistance à la traction* du fer et de l'acier (1), contient un excellent résumé des connaissances acquises; l'auteur paraît arriver aux mêmes conclusions que nous. Pendant bien des années, nous avons communiqué aux élèves de la section métallurgique de l'École royale des mines de Londres les faits et les observations que nous venons d'exposer. Quelques remarques sur la cassure cristalline et fibreuse avaient déjà paru dans notre premier volume (2).

(1) *Results of an Experimental inquiry into the comparative tensile Strength and other properties of various kinds of wrought Iron and Steel.* In-8°, Londres, 1862.

(2) *Métallurgie*, t. I, p. 8 de la traduction.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DU FER.

POIDS ATOMIQUE, 28. (*Svanberg*).

FER ET OXYGÈNE.

Le fer, à l'état *compacte,* plongé dans l'oxygène parfaitement sec, ne subit pas de changement à la température ordinaire de l'atmosphère ; à l'état de très-grande division, comme lorsqu'on l'obtient du sesquioxyde de fer réduit par l'hydrogène à une très-basse température, si on le chauffe lentement à l'air atmosphérique, il prend feu et se convertit en sesquioxyde. Le fer ainsi divisé passe pour être pyrophorique dès qu'il est refroidi. M. Dick a fait, dans notre laboratoire, quelques expériences à ce sujet. Il prépara du sesquioxyde de fer pur par l'addition d'ammoniaque en excès dans une solution de sesquichlorure de fer, et lava parfaitement le précipité ainsi formé. La réduction s'effectua dans un tube de verre par de l'hydrogène qui avait passé sur de l'acide sulfurique, puis sur du chlorure de calcium et sur des fragments de potasse ; l'oxyde fut réduit en poussière fine et chauffé doucement au moyen d'une lampe à esprit-de-vin. Le métal réduit s'enflammait quand on l'agitait à l'air hors du tube, mais seulement tant que ce tube restait chaud à la main. Entièrement refroidi dans l'atmosphère d'hydrogène, il ne prenait feu qu'après avoir été doucement chauffé sur une feuille de papier bien au-dessous de 100° C. ; le produit de la combustion était du sesquioxyde. Dans plusieurs expériences, ce fer ne s'enflammait qu'un peu au-dessus de 100° C. Après son complet refroidissement, il paraissait exiger chaque fois une température plus élevée pour s'enflammer, bien que ce fait n'ait pas été confirmé par des observations thermométriques. Dans aucune expérience, on n'a pu obtenir de fer pyrophorique dès qu'il a été tout à fait refroidi ; mais, projeté dans l'air chaud, il brûlait avec éclat. Nous sommes redevable à Magnus des observations suivantes :

la réduction du sesquioxyde de fer dans l'hydrogène commence au point d'ébullition du mercure, et s'accomplit entre ce point et celui de la fusion du zinc; quand la température à laquelle la réduction s'effectue n'excède pas cette dernière limite, le produit est pyrophorique, mais il cesse de l'être s'il est chauffé au delà (1). En déplaçant l'hydrogène par un courant d'acide carbonique, après la réduction de l'oxyde, et en permettant au fer de se refroidir dans ce gaz, la propriété pyrophorique disparaît. On en conclut que cette propriété dépend de la condensation de l'hydrogène dans le fer réduit, qui s'enflamme spontanément au contact avec l'air atmosphérique. La faculté remarquable dont jouissent certaines matières pulvérulentes, telles que le noir de platine, de déterminer la combustion des gaz et des vapeurs en contact avec l'air, est maintenant bien connue. L'assertion précédente n'a pas été confirmée en chauffant l'oxalate de fer au plus bas degré de température auquel la décomposition se produit, et en permettant au résidu de se refroidir dans les gaz qui consistent principalement en acide carbonique; il n'y avait pas d'hydrogène, et cependant le produit était pyrophorique. On verra plus loin que ce produit est un mélange de protoxyde de fer et de fer métallique. Lorsque le sesquioxyde est précipité avec environ 3 pour 100 d'alumine ou de silice, de manière que le mélange soit très-intime, il peut se réduire dans l'hydrogène à une chaleur rouge et être encore pyrophorique; les matières étrangères infusibles et interposées tendent à ce que les molécules de fer ne se frittent pas et aident à les maintenir à l'état de division.

M. Dick a recherché si le fer réduit par l'hydrogène et refroidi dans ce gaz n'en retenait pas une certaine quantité; ses essais ne sont pas très-concluants. De l'éponge et du noir de platine ont été intimement mêlés avec le fer, sans qu'il

(1) Berzélius, *Jahresb.*, t. VII, p. 142. Voir aussi t. VI, p. 155 du même ouvrage pour les détails qui suivent sur les expériences de Magnus.

y ait eu d'indice de formation d'eau. On mit un peu de ce fer sur du chlorate de potasse préalablement fondu et solidifié au fond d'un tube à essai; en chauffant, l'ignition se produisit, mais il ne se condensa pas d'eau sur la partie froide du tube.

Le fer à l'état compacte, chauffé au rouge dans l'oxygène, brûle avec une vive incandescence, en donnant lieu à un oxyde qui tombe en globules bien fondus et dont la composition, d'après M. Marchand, est représentée par la formule Fe^4O. On connaît l'expérience qui consiste à plonger dans le gaz oxygène l'extrémité d'un fil de fer rouge; le fer brûle encore très-vivement à la chaleur blanche ou au-dessous, dans l'air atmosphérique. On peut voir journellement ce phénomène dans les fours à puddler. Dans quelques localités, les cloutiers profitent de la combustibilité du fer à de hautes températures pour maintenir leurs clous à la chaleur voulue pendant le forgeage. Un jet de chalumeau communiquant par un tube avec un soufflet supérieur, leur permet d'injecter de l'air sur le fer trop refroidi, et d'élever aussitôt considérablement le degré de chaleur. Nous avons vu recourir à cet expédient, aussi simple que instructif, à Ruabon, dans le pays de Galles nord; M. Richard Phillips l'a vu également dans les clouteries des environs de Birmingham, bien que nous ne nous le rappelions pas, malgré nos fréquentes visites (1).

Que l'on attache à une corde l'extrémité d'une tige de fer chauffée à blanc à l'autre extrémité, et qu'on la fasse tourner rapidement dans l'air, la combustion du métal dégagera un cercle petillant d'étincelles ressemblant à un soleil d'artifice (2). Le fer compacte s'oxyde promptement au rouge sombre dans l'air atmosphérique; la nature de cet oxyde varie suivant qu'on élève la température au rouge ou au blanc vif.

Quelques auteurs affirment que le fer jouit de la propriété

(1) *Phil. Mag.*, t. II, p. 407; 1837.
(2) D'Arcet, *Berzélius Jahresb.*, t. XV, p. 160.

de dissoudre en petites quantités l'oxygène ou plutôt l'oxyde de fer, exactement de même que le cuivre dissout son propre bioxyde ; il n'y a pas, à notre connaissance, de preuves bien positives à l'appui de cette assertion.

M. Dick a fait à ce sujet, dans notre laboratoire, une expérience d'un résultat négatif. Nous n'en rendons compte que pour appeler l'attention sur ce point douteux. Il mêla 29 grammes de sesquioxyde de fer pur avec la quantité de noir de fumée nécessaire pour réduire à l'état métallique 24 grammes seulement d'oxyde, laissant ainsi un excès considérable d'oxyde non réduit. Le noir de fumée avait été préparé au laboratoire en distillant de l'huile de térébenthine ; le mélange ayant été fortement chauffé dans un creuset de terre, il se forma un culot de fer bien fondu et recouvert d'une scorie également bien fondue. Le métal était très-doux et empâtait la lime. On mit dans un tube à combustion 9.70 grammes de limaille provenant du culot, et par une des extrémités du tube on fit arriver de l'hydrogène bien sec ; l'autre extrémité débouchait dans un tube à chlorure de calcium pesé à l'avance. Le courant d'hydrogène continuant lentement, on porta au rouge et on y maintint pendant une demi-heure environ la partie du tube à combustion contenant la limaille. Le tube à chlorure n'augmenta après ce traitement que de $0^{gr}.00027$ en poids, ce qui indiquerait la présence de 0.0174 pour 100 d'oxygène ou de 0.0609 pour 100 de protoxyde de fer dans la limaille. On ne peut évidemment rien conclure d'une expérience unique, qui peut être erronée.

Protoxyde de fer. FeO. — Il est généralement établi que cet oxyde, à l'état isolé, est inconnu ; suivant M. Debray, il se forme, quand on fait passer de l'hydrogène et de la vapeur d'eau, en de certaines proportions, sur du sesquioxyde de fer chauffé (1). Ainsi préparé, il est noir et non magnétique ; il

(1) *Métallurgie*, t. I, p. 24.

brûle facilement dans l'air atmosphérique, et donne naissance à de l'oxyde magnétique. Lorsqu'on chauffe de l'oxalate sec de protoxyde de fer à l'abri de l'air, le résidu, d'après M. Liebig, est du protoxyde de fer renfermant un peu de fer métallique, et le volume d'oxyde de carbone dégagé est moindre en conséquence que le volume d'acide carbonique. Il s'enflamme spontanément à l'air et se convertit en sesquioxyde (1). Le protoxyde de fer est une base énergique et se rencontre fréquemment dans les opérations sidérurgiques à l'état de combinaison. Il est précipité des solutions aqueuses de sels de protoxyde par la potasse ou la soude, à l'état d'hydrate blanc, floconneux, qui, au contact de l'air, absorbe immédiatement l'oxygène et devient vert à cause de la formation d'un peu d'oxyde magnétique. Il est soluble, mais faiblement, dans la potasse fondue. Lorsqu'on prépare de la potasse pure à l'alcool, et qu'à la première évaporation de la solution aqueuse, on emploie un vase en fonte, la potasse solide et caustique a toujours une couleur pâle, mais d'un vert très-prononcé, ressemblant au vitriol vert; cette combinaison prétendue de protoxyde de fer et de potasse a été décrite sous le nom de *ferrite de potasse*. Il a une puissante affinité pour l'oxygène. Ainsi, quand des proportions équivalentes de sulfate de protoxyde de cuivre et de fer sont dissoutes dans l'eau et qu'on y ajoute une solution de potasse caustique ou de soude, il se forme un précipité d'un brun rouge, ou une combinaison dont la formule est Cu^2O, Fe^2O^3. En traitant ce composé en vase clos par de l'ammoniaque, le bioxyde de cuivre se dissout seul et la liqueur est incolore ; le sesquioxyde hydraté de fer reste (2). Il a le pouvoir de décomposer l'eau : ainsi, quand un protosel de fer est précipité avec excès de potasse, et que le tout est bouilli, l'hydrogène s'évapore assez abondamment, et il se forme de l'oxyde magnétique de fer (3).

(1) *Jahresb.*, p. 401-465; 1855.
(2) Berzélius, *Traité*, t. II, p. 674.
(3) Frémy, *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XII, p. 365; 1844.

Sesquioxyde de fer. Oxyde rouge de fer. Fe^2O^3.— Il cristallise dans le système rhomboédrique. En cristaux, il est d'un gris d'acier, avec éclat métallique brillant; il marque en rouge ou rouge brun. Les minéraux connus sous le nom de *fer spéculaire* et de *minerais micacés* sont formés par cet oxyde. En lamelles minces, telles que l'offrent ces minerais, il transmet une lumière rouge. La pesanteur spécifique du sesquioxyde natif est de 5.191 à 5.230 (1), et celle de l'oxyde artificiel a été évaluée par M. H. Rose à 5.17. L'oxyde préparé artificiellement n'est pas magnétique, mais l'oxyde cristallisé natif l'est légèrement (2). Il n'est pas volatil, quoique l'apparition du fer spéculaire dans les cratères des volcans puisse le faire supposer. Cependant Mitscherlich a démontré que ce minéral n'avait pas été sublimé, mais qu'il s'était produit à une température élevée par le contact de la vapeur d'eau et de la vapeur du sesquichlorure de fer qui se décomposent avec formation d'acide chlorhydrique et de sesquioxyde de fer cristallisé (3).

Il n'est pas fusible, excepté à des températures très-élevées, et alors il perd de l'oxygène et donne naissance à de l'oxyde magnétique. Ainsi, d'après M. H. Rose, il fond au four à porcelaine, mais en même temps il se réduit en oxyde magnétique (4). Lorsque le sesquioxyde de fer est fortement chauffé au contact du fer métallique, il se réduit en oxyde magnétique. Si l'on introduit au fond d'un creuset de fer forgé du fil de fer mince coupé en petits morceaux, et que l'on place dessus quelque peu de sesquioxyde de fer, puis du fil de fer coupé et ainsi de suite, de façon à remplir le creuset; si l'on enferme ce creuset dans un autre creuset d'argile couvert, et que l'on chauffe fortement, on trouve, après refroidissement, du fil si adhérent, qu'il faut briser le creuset au ciseau et au

(1) G. Rose, *Pogg. Ann.*, t. LXXIV, p. 440.
(2) H. Rose, *Anal. Chem.*, t. I, p. 121; 1851. On a préparé récemment un oxyde rouge artificiel qui est magnétique.
(3) *Pogg. Ann.*, t. XV, p. 630.
(4) *Pogg. Ann.*, t. LXXIV, p. 440.

marteau. Le sesquioxyde de fer est remplacé par une poudre noire très-cristalline, attirable à l'aimant, et qui rend à l'essai 73.9 pour 100 de fer, c'est-à-dire 1.5 de plus que l'oxyde magnétique.

On peut réduire facilement l'oxyde à l'état métallique en le chauffant au rouge au contact du carbone, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène, de l'ammoniaque ou du cyanogène. Lorsque la réduction s'opère par l'un de ces agents à une température relativement basse, le métal reste à l'état pulvérulent; mais si la température est élevée, il se produit une masse métallique adhérente, que l'on peut facilement forger en un métal solide. Il n'est pas nécessaire, pour que la réduction soit complète, comme nous l'avons vu précédemment, qu'il y ait contact intime entre le carbone et le sesquioxyde (1). On peut convertir en fer métallique des morceaux d'oxyde de dimensions considérables, de la grosseur du poing par exemple, en les soumettant au rouge vif pendant plusieurs heures, au milieu de gros poussier de charbon. Il se réduit d'abord en oxyde magnétique, et, d'après Berthier, si la masse n'est pas trop volumineuse, il se transforme en totalité en cet oxyde, avant qu'il se forme du fer métallique; « puis la réduction se propage de la surface au « centre, en s'opérant de telle manière qu'à mesure qu'il se « produit du fer métallique à la surface, il se forme un oxyde « moins élevé que l'oxyde magnétique, celui des battitures, « dans l'intérieur et jusqu'au centre, mais en proportions dé« croissantes de la surface à ce point (2). » Dans la réduction par l'hydrogène, l'oxyde magnétique est le premier à se former, et si l'on opère à une très-basse température, la totalité consistera parfois en oxyde magnétique, et le produit sera noir au lieu d'être gris.

On fabrique en grand le sesquioxyde de fer à l'état de poudre amorphe, dont la couleur varie beaucoup suivant le procédé

(1) *Métallurgie*, t. I, p. 26-30.
(2) *Traité des Essais*, t. II, p. 186.

employé ; il est en usage surtout dans les arts céramiques pour donner des teintes rouges, brunes et violettes (1). Ainsi, les sels suivants de sesquioxyde de fer, le sulfate basique, le sulfate et l'azotate, produisent chacun par la calcination un rouge très-vif, un rouge foncé, et un brun-noirâtre (2). On emploie encore le sesquioxyde de fer pour polir les plaques de verre, et dans ce but on fait calciner du sulfate de protoxyde de fer (vitriol vert) à une chaleur rouge, et l'on soumet le résidu, appelé *colcothar*, à la trituration et à la lévigation. La poudre rouge que l'on vend sous le nom de *rouge* à polir l'argenterie, n'est que du sesquioxyde de fer très-finement broyé et lavé. Dans un échantillon que nous avons examiné, nous avons trouvé du mercure ; cet ingrédient ne saurait être toléré ; car, s'il abrége le travail du polissage, il augmente certainement l'usure de l'argenterie. On peut obtenir une belle variété micacée de sesquioxyde de fer en faisant chauffer avec précaution un mélange de sulfate de protoxyde de fer bien sec avec deux ou trois fois son poids de sel ordinaire. Le sulfate de soude qui se forme, est retiré par le lavage à l'eau, en même temps que le sel ordinaire en excès. L'oxyde ainsi préparé est bon, dit-on, pour polir. Il est difficilement attaqué, même par l'acide chlorhydrique à chaud.

Par la calcination avec un excès de soufre, le sesquioxyde de fer se convertit en sulfure avec production d'acide sulfureux. A une température élevée, il joue le rôle d'un acide vis-à-vis les bases fixes. Ainsi qu'il a déjà été dit, il forme des combinaisons fusibles avec la chaux (3). Quand on le chauffe fortement avec du carbonate de potasse ou de soude, l'acide carbonique est chassé, et par l'action de l'eau sur le produit, l'alcali caustique se dissout en abandonnant du sesquioxyde de fer.

(1) Brongniart, *Traité des Arts céram.*, t. II, p. 516 ; 1844.
(2) Berzélius, *Traité*, t. II, p. 668.
(3) *Métallurgie*, t. I, p. 67.

Le sesquioxyde est insoluble dans l'eau ou dans les solutions alcalines et ammoniacales; il se dissout dans les acides sulfurique, azotique, chlorhydrique et dans d'autres acides; mais lorsqu'il est cristallisé, où après calcination, la dissolution s'opère très-lentement, même à l'aide de la chaleur; le meilleur dissolvant est l'acide chlorhydrique. En effectuant la dissolution dans cet acide, nous avons constaté qu'il convient de réduire premièrement l'oxyde en le chauffant à la chaleur rouge, dans un creuset de porcelaine fermé par un couvercle percé d'un trou par lequel on peut introduire un jet d'hydrogène ou de gaz d'éclairage. La réduction complète ayant lieu en quelques minutes, le fer métallique se dissout rapidement; et, s'il est nécessaire, le protochlorure de fer formé peut être immédiatement converti comme à l'ordinaire en sesquichlorure en le faisant bouillir avec un peu de chlorate de potasse ou d'acide azotique. On épargne ainsi beaucoup de temps.

En chauffant au chalumeau, dans la flamme oxydante, une perle de borax ou un fil de platine avec une petite quantité de sesquioxyde de fer, elle reste jaune tant qu'elle est chaude, mais incolore quand elle est froide; avec une plus forte addition d'oxyde, elle est rouge lorsqu'elle est chaude, et jaune lorsqu'elle est froide. En augmentant davantage encore la proportion, la couleur est rouge foncé à chaud et jaune foncé à froid. Dans la flamme réductrice, elle devient d'un vert de bouteille; et chauffée dans cette flamme sur du charbon, avec addition d'étain, elle commence par être d'un vert de bouteille, puis, le souffle se prolongeant, elle acquiert la couleur du vitriol vert. Mélangé à du sel microcosmique, dans la flamme oxydante, une certaine quantité de l'oxyde donne une perle d'un rouge jaunâtre quand elle est chaude, mais en refroidissant, elle devient d'abord jaune, puis grisâtre, et enfin incolore. Par une addition considérable d'oxyde, la perle est d'un rouge foncé à chaud, et, par le refroidissement, d'un rouge brun, puis vert sale, et enfin d'un brun rougeâtre. La couleur disparaît par le

refroidissement beaucoup plus vite qu'avec des perles de borax. Dans la flamme réductrice, la perle ne paraît pas changer par une faible addition d'oxyde ; par une addition plus forte, elle est rouge à chaud, et en refroidissant elle devient premièrement jaune, puis grisâtre, et enfin rougeâtre ; traitée avec de l'étain sur du charbon, la perle tourne au gris en refroidissant, et reste finalement incolore (1).

Sesquioxyde de fer hydraté. — Le sesquioxyde de fer se combine avec l'eau, en formant des hydrates définis qui perdent toute leur eau à la chaleur rouge. Il est précipité à l'état d'hydrate brun rougeâtre volumineux par l'addition d'ammoniaque, de potasse caustique, ou de soude, dans les solutions de sels qui contiennent cet oxyde comme base, tel que le sesquichlorure de fer. Il retient quelques-uns des précipitants alcalins fixes qu'on ne peut extraire par le lavage. Quand il est récemment précipité, sa formule est $Fe^2O^3, 3HO$; à cet état, il est facilement soluble dans les acides, et paraît, au microscope, parfaitement amorphe. Pourtant, si on le garde pendant quelque temps sous l'eau, il devient cristallin, bien moins facile à dissoudre dans les acides, et a pour formule $2Fe^2O^3, 3HO$, de sorte qu'il perd la moitié de l'eau qu'il contenait primitivement (2). Quand il est bouilli dans l'eau pendant trois ou quatre minutes, sa formule devient Fe^2O^3, HO ; exposé à l'action de l'eau, à 160° C. ou à 186° C., dans des tubes fermés, pendant huit jours, il devient anhydre, d'après Sénarmont (3). M. Schiff a examiné un échantillon de sesquioxyde de fer hydraté qui était resté plus de quinze ans sous l'eau à la température ordinaire, et il assure qu'il avait encore la même formule (4). L'hydrate s'altère beaucoup par un séjour de sept ou huit heures dans l'eau bouillante. Il devient rouge-brique, et il est à peine at-

(1) Plattner, *Probirkunst*, p. 146 ; 1853.
(2) Buchner, *Gmelin Handbook*, t. V, p. 198.
(3) *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XXXII, p. 146 ; 1851.
(4) *L. u. K. Jahresb.*, p. 188 ; 1860.

taqué par l'acide azotique concentré bouillant; l'acide chlorhydrique concentré ne le dissout qu'à la température d'ébullition, ou après un contact prolongé. Dans le mémoire remarquable de M. Graham sur la dialyse, on trouve quelques observations intéressantes sur le sesquioxyde de fer hydraté. En dialysant une solution de sesquichlorure de fer très-basique, il obtint une solution aqueuse presque pure de sesquioxyde de fer. L'eau qui contient près de 1 pour 100 de cet hydrate en solution, a la couleur rouge foncée du sang veineux. Cette solution peut être concentrée en la faisant bouillir jusqu'à un certain point; elle prend alors la consistance pectineuse, c'est-à-dire que l'hydrate se sépare et se coagule en une sorte de gelée. La coagulation à froid est causée par des traces d'acide sulfurique, par les alcalis, les carbonates alcalins, les sulfates et les sels neutres en général, mais non par les acides chlorhydrique, azotique ou acétique, ni par l'alcool ou le sucre. Le coagulum est sous forme de gelée d'un rouge foncé, pareil aux caillots de sang, mais plus transparent; une fois formé, soit en précipitant, soit spontanément, et sans aucune addition à la solution de sesquioxyde de fer, il n'est plus soluble dans l'eau, à chaud ni à froid, mais il se dissout entièrement dans les acides dilués. Somme toute, c'est du sesquioxyde de fer hydraté ordinaire; de sorte qu'il y a une forme soluble et insoluble de cette substance à l'état colloïdal. M. Graham est d'avis que l'hématite naturelle, dans les concrétions mammillaires, est colloïdale. Il existe aussi un méta-sesquioxyde de fer soluble qui résulte de l'action prolongée de la chaleur sur une solution d'acétate. La propriété caractéristique qui indique la nature allotropique de cette substance, est la couleur orange rouge et opaline de sa dissolution. Il est entièrement précipité en ocre brun par une trace d'acide sulfurique ou de sel alcalin, et il est insoluble dans tous les acides à froid, même concentrés (1).

(1) *Phil. Trans.*, 13 juin 1861, p. 208. Voir aussi *Recherches sur le sesquioxyde de fer*

Sesquioxyde de fer et chaux. — On a vu dans le premier volume (1) que cet oxyde se combine avec la chaux par *voie sèche;* ils se combinent aussi par *voie humide.* M. Pelouze a décrit un composé ayant pour formule 4 CaO, Fe^2O^3. Il est précipité par l'addition d'un excès de potasse dans une solution aqueuse de chlorure de calcium et de sesquichlorure de fer dans le rapport de 4 équivalents : 1. C'est une poudre d'un blanc de neige, légère, amorphe, qui devient brune par le séjour à l'air, par suite de la formation de carbonate de chaux et de la mise en liberté du sesquioxyde de fer. On peut le garder aussi longtemps qu'on veut, pourvu que l'air soit exclu. Quand il est nouvellement produit, il est plus ou moins brun; un peu de sesquioxyde de fer se trouvant précipité apparemment à l'état de combinaison, se combine quelques heures après avec la chaux, et le précipité devient blanc quoiqu'il contienne près de la moitié de son poids de sesquioxyde de fer; il est insoluble dans l'eau pure ou sucrée. C'est un composé très-peu stable, qui se décompose par l'acide carbonique ou lorsqu'il est bouilli avec un carbonate soluble. On peut le faire bouillir avec de la potasse caustique, sans qu'il subisse aucun changement (2).

Quelque temps avant la publication du mémoire de M. Pelouze, M. Mercer, de Manchester, nous avait informé que le sesquioxyde de fer et la chaux se combinaient par la *voie humide.*

OXYDE MAGNÉTIQUE DE FER. Fe^3O^4, ou $FeO + Fe^2O^3$. — Il cristallise dans le système cubique; on le trouve en beaux cristaux dans la nature, ainsi que dans diverses opérations métallurgiques, et surtout dans la fabrication du fer. Nous l'avons souvent remarqué dans les produits des fourneaux, généralement en octaèdres, bien que nous ayons un échantillon provenant des usines à fer de Blaina, dans le Monmouthshire, dont les cristaux sont des dodécaèdres rhombiques

modifié par la chaleur, par Péan de Saint-Gilles, *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XLVI, p. 47; 1856.

(1) *Métallurgie*, t. I, p. 67.

(2) *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XXXIII, p. 5; 1851.

et rivalisent avec les cristaux natifs de Traversella. Nous possédons également des scories où de petits octaèdres se trouvent empilés les uns sur les autres, de façon à être pris à première vue pour des prismes. La poudre de cet oxyde est noire comme la masse et il tache en noir. Lorsqu'il est cristallisé, il est opaque et a l'éclat métallique. La pesanteur spécifique de l'oxyde natif varie de 4.98 à 5.20; il n'est pas volatil et fond à des températures très-élevées. Dans certains procédés de la fabrication du fer, où les jets d'air atmosphérique sont lancés sous un angle aigu sur de la fonte en fusion, une masse de petits globules sphériques creux, que l'aimant attire fortement, tombent sous forme de pluie de toutes les parties de l'atmosphère environnante. Nous en avons rassemblé des kilogrammes sur le sol; nos vêtements et surtout les bords de notre chapeau en étaient couverts. Ces globules contiennent cependant de la silice qui est séparée à l'état gélatineux par l'acide chlorhydrique, en même temps que du sesquioxyde et du protoxyde de fer. M. Smith les a analysés au laboratoire métallurgique de l'Ecole royale des mines, et il leur a trouvé la composition suivante :

Protoxyde de fer.	28.91
Sesquioxyde de fer.	37.44
Silice.	24.10
Alumine avec des petites quantités d'oxyde de manganèse, de chaux et de magnésie.	9.55
	100.00
Fer métallique pour 100	48,70

Cette proportion de sesquioxyde exigerait 16.85 de protoxyde de fer pour former de l'oxyde magnétique, ce qui laisserait 12.06 de protoxyde de fer en combinaison avec la silice. En supposant que la totalité du fer soit à l'état de protoxyde et combiné avec la silice pour former $3FeO,SiO^3$, il manquerait environ 2.57 de silice. L'alumine provient probablement des cendres de coke sous lesquelles la fonte de fer était en fusion

durant l'affinage. Comme la silice décompose le sesquioxyde de fer à une température élevée, en formant du silicate tribasique de protoxyde de fer et en dégageant de l'oxygène, il est possible que cette action ait continué à se produire lors de la projection des globules et que l'oxygène, mis en liberté, ait en quelque manière déterminé la projection.

Ce qu'on a dit relativement à la réduction du sesquioxyde, s'applique également à l'oxyde magnétique de fer. Il se réduit par le potassium ou le sodium à l'état métallique, à environ 300° C., avec un léger dégagement de lumière et de chaleur; tandis que le fer métallique réduit complétement les oxydes de ces métaux à une température élevée (1). Il se combine avec environ 7 pour 100 d'eau et forme un hydrate; c'est ce composé qui résulte de l'action de l'air sur le précipité blanc formé par l'addition d'une solution de potasse ou de soude dans les sels de protoxyde de fer. Il est d'abord d'un vert terne, puis noir, et par un séjour prolongé il se convertit en sexquioxyde hydraté brun. Il se produit de même instantanément, dès qu'on ajoute les mêmes précipitants alcalins ou de l'ammoniaque, aux solutions de sels de protoxyde et de sesquioxyde mélangés dans un rapport convenable. Après dessiccation, ce dernier précipité se change en une masse noire agglutinée dont la cassure est vitreuse et la poussière brune. Il est magnétique comme l'oxyde anhydre. Chauffé en vase clos, il perd son eau. L'oxyde magnétique s'obtient en faisant bouillir de la limaille de fer en excès, avec de l'eau et du sesquioxyde de fer hydraté tel qu'il résulte d'une addition convenable d'ammoniaque dans une solution de sesquioxyde, après avoir bien lavé le précipité sans le sécher. L'eau se décompose avec dégagement d'hydrogène fétide qui continue jusqu'à ce qu'il se forme du protoxyde en quantité suffisante pour former de l'oxyde magnétique avec le sesquioxyde présent. Le produit

(1) Gmelin, *Handbook*, t. V, p. 192.

est un hydrate noir, pulvérulent, d'oxyde magnétique dont on peut retirer l'excès de fer métallique par lévigation. Quand on chauffe dans un creuset du protochlorure de fer solide avec un excès de carbonate de soude, de l'oxyde magnétique se forme, et en le lavant avec de l'eau, il tombe à l'état de poussière noire cristalline que l'on peut sécher sans qu'il s'oxyde davantage (1). Lorsqu'on met de l'oxyde magnétique anhydre et de l'oxyde hydraté dans un vase clos, avec assez d'acide chlorhydrique, par exemple, pour dissoudre le protoxyde présent, le dernier oxyde seul se dissoudra.

OXYDE DES BATTITURES. — Quand le fer est chauffé au rouge, comme dans le recuit de la tôle, ou à une température encore plus élevée, comme dans le forgeage du fer en barre, sa surface se recouvre d'oxyde qui se détache en grande partie, en pliant ou en martelant le métal à froid, ou encore en le plongeant chaud dans l'eau froide. C'est cet oxyde qu'on connaît sous le nom de *battitures de fer*, de *scories de marteau* ou de *pailles de fer*. Il est noir, opaque, d'un éclat faiblement métallique; il se fond à une température élevée et est très-magnétique. Berzélius a examiné un morceau de fer qu'on avait maintenu dans un fourneau pendant vingt-quatre heures; il était couvert d'une croûte de $0^m,003$ d'épaisseur qui, dans sa cassure, présentait deux couches distinctes. L'une à l'intérieur était brune, bulleuse, sans grand éclat et faiblement attirée par l'aimant; celle de l'extérieur présentait à la surface une mince couche de sesquioxyde à teinte rouge; sa cassure était compacte, brillante, d'un gris de fer; elle était dure, tenace, plus fortement attirée par l'aimant que la première. Ces couches furent analysées séparément par M. Mosander; en voici les résultats :

	COMPOSITION POUR CENT.	
	Couche intérieure.	Couche extérieure.
Protoxyde de fer.	72.92	64.23
Sesquioxyde de fer.	27.08	35.77

(1) Liebig et Wöhler, Berzélius, *Traité*, t. II, p. 672.

Mais en analysant de nouveau isolément les moitiés intérieure et extérieure de la couche *externe*, M. Mosander trouva que la proportion de sesquioxyde de fer diminuait vers l'intérieur; ainsi la couche *interne* était toute homogène, et sa composition pouvait se représenter par la formule $6FeO,Fe^2O^3$ (1).

M. Smith a fait au laboratoire métallurgique les expériences suivantes sur la formation de l'oxyde des battitures. Le fer employé pour les expériences provenait d'un morceau de fer forgé, de 6 centimètres carrés et $0^m.114$ de long, et de six morceaux de fer feuillard de $0^m.114$ de long et de 0.029 de large sur $0^m.0016$ d'épaisseur, qu'on empila en les maintenant séparés par des traverses en fil de fer fort. On plaça le tout sur des briques réfractaires et on chauffa dans un moufle, la température passant progressivement du rouge-cerise au rouge blanc. Au bout de deux heures et demie, on retira un des morceaux de fer plat, et quand il fut froid on examina les battitures. Cet oxyde fut facilement détaché de la surface du fer, et l'on trouva qu'il consistait en trois couches :

1° *Couche extérieure*. — Couleur d'un noir gris rougeâtre; éclat terne et dans quelques endroits faiblement métallique; cassant, très-mince, formant des vésicules dans quelques endroits, insensible à l'aimant; la couleur de la poussière fine était rouge brun.

2° *Couche centrale*. — Couleur noire grisâtre; éclat métallique; cassure brillante et fibro-cristalline; les fibres sont disposées transversalement à la surface; l'oxyde est très-sensible à l'aimant; poudre noire; épaisseur $0^m.0008$ environ; elle forme la partie dont la battiture est essentiellement composée.

3° *Couche intérieure*. — Elle se trouve en contact avec la surface du fer et forme une couche mince, noire, cristalline, recouverte de nombreux cristaux octaédriques très-petits. On la détache facilement du fer en le pliant sur lui-

(1) Berzélius, *Traité*, t. II, p. 674.

même ; on trouve alors que la surface du fer est revêtue çà et là de ces petits cristaux ; la poudre est noire et sensible à l'aimant, mais moins que le n° 2.

On sépara avec soin des portions de chacune des trois couches, afin de déterminer leur composition pour cent :

	1. Couche extérieure.	2. Couche centrale.	3. Couche intérieure.
Protoxyde de fer. .	1.20	59.49	73.81
Sesquioxyde de fer.	98.80	40.51	26.19
	100.00	100.00	100.00
Fer pour 100. . .	70.09	74.64	75.74
Formules	Fe^2O^3	$3Fe^2O^3+10FeO$ ou $3Fe^3O^4+7FeO$	Fe^2O^3+6FeO ou Fe^3O^4+5FeO

On continua l'expérience, la chaleur du moufle étant élevée du rouge vif au blanc jaunâtre, et au bout de deux heures on retira un autre morceau de fer plat afin d'examiner l'oxyde, comme précédemment. Il consistait en trois couches ressemblant par leurs caractères physiques et externes, à ceux décrits plus haut. On se borna à analyser les couches extérieure et centrale :

	1. Couche extérieure.	2. Couche centrale.
Protoxyde de fer.	0.69	52.01
Sesquioxyde de fer.	98.63	47.67
	99.32	99.68
Fer pour 100.	69.58	72.39
Formules.	Fe^2O^3	$2Fe^2O^3+5FeO$ ou $2Fe^3O^4+3FeO$

On laissa alors le fourneau se refroidir, et le matin suivant, on retira du moufle les morceaux de fer qui restaient. L'oxyde *intérieur*, détaché d'un des morceaux de fer plat, avait pour composition :

Protoxyde de fer.	53.23
Sesquioxyde de fer.	46.77
	100.00
Fer pour 100.	74.14
Formule.	$2Fe^2O^3+5FeO$ ou $2Fe^3O^4+3FeO$

L'oxyde du fer en barre avait des caractères externes identiques à ceux déjà constatés ; il était de même divisé en trois couches. La couche du dehors et celle du milieu avaient pour composition :

	1. Couche extérieure.	2. Couche centrale.
Protoxyde de fer.	0.32	40.94
Sesquioxyde de fer.	99.68	59.00
	100.00	100.00
Fer pour 100.	70.02	73.18
Formules.	Fe^2O^3	$2Fe^2O^3+3FeO$ ou $2Fe^3O^4+FeO$

Oxyde velouté. — L'extrémité du fer en barre, exposée à la température la plus élevée au fond du moufle, était couverte, sur environ 0m.0016 d'épaisseur, d'un oxyde à reflet velouté, de structure mammillaire et à cassure cristalline ; le dessous était terne et offrait des cristaux mal formés ; la poudre, d'un brun rougeâtre foncé, se laissait toute entière attirer par l'aimant. Il se dissolvait bien dans l'acide chlorhydrique en laissant une trace de silice floconneuse, et était composé de :

Protoxyde de fer.	10.73
Sesquioxyde de fer.	89.27
	100.00
Fer pour 100.	65.93
Formule	$4Fe^2O^3+FeO$ ou $Fe^3O^4+3Fe^2O^3$

Un morceau de fer plat, calciné dans une des expériences sur une brique de Dinas, fut trouvé au sortir du moufle entièrement à l'état d'oxyde, mais il conservait encore sa forme. Il s'était converti en un oxyde noir, vitreux, compacte et friable; la surface externe avait un faible éclat métallique et la poussière était sensible à l'aimant; il se composait de :

Protoxyde de fer	54.89
Sesquioxyde de fer	37.49
Silice (par différence)	7.62
	100.00
Fer pour 100	68.94

Acide ferrique FeO^3 (1). — MM. Frémy, Denham Smith et H. Rose ont étudié cet acide et sont tombés d'accord sur sa formule. Il n'existe pas, que l'on sache, isolément. Ses sels sont caractérisés par une couleur rouge vif. Le ferrate de potasse se dissout très-bien dans l'eau à laquelle il communique une belle teinte d'un rouge violacé; il se précipite par un excès de potasse et devient noir. La solution de ce sel se décompose spontanément, avec dégagement d'oxygène, précipitation du sesquioxyde de fer et mise en liberté de la potasse; cette réaction est subite quand la solution est chauffée jusqu'à l'ébullition. La présence d'une matière fine en suspension, telle que le sesquioxyde de fer, hâte la décomposition comme dans le cas de l'eau oxygénée. C'est un fait singulier que les hypochlorites, selon M. Frémy, rendent le ferrate de potasse plus stable, d'autant plus stable qu'une solution de ce sel mêlé à un hypochlorite alcalin, ne se détruit que très-lentement par l'ébullition; le chlore en excès, de même que l'ammoniaque, décompose le ferrate de potasse; l'azote se dégage et le sesquioxyde de fer se précipite. Tous les acides énergiques le décomposent, l'acide ferrique se trouvant *instantanément*

(1) *Recherches sur les acides métalliques*, par M. Ed. Frémy, *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XII, p. 364; 1844.

réduit en oxygène et en sesquioxyde de fer, ce qui n'a pas lieu avec le permanganate de potasse.

En ajoutant de l'acide chlorhydrique au ferrate de potasse, on obtient du chlorure et du sesquichlorure de fer. Les matières organiques le décomposent, de façon qu'une solution de ferrate de potasse ne passe pas à travers le papier à filtre. On peut préparer le ferrate de potasse par les procédés suivants : on chauffe au rouge un creuset de Hesse renfermant 5 grammes de limaille de fer pur, puis on y jette 10 grammes de nitre fondu en poudre ; l'action la plus vive se manifeste soudain, et comme une partie du contenu se projette dehors, l'opération exige du soin ; on couvre enfin le creuset et on le laisse refroidir. On obtient ainsi une masse d'un rouge violacé, qui contient une grande quantité de ferrate de potasse que l'on peut facilement détacher. C'est l'une des méthodes recommandées par M. Frémy, qui insiste sur la nécessité de suivre les instructions qu'il donne. M. Denham Smith (1) recommande le procédé suivant, comme lui ayant habituellement réussi :

« Lavez le *sesquioxidum ferri* du commerce à l'eau bouil-
« lante, jusqu'à ce qu'il soit exempt de sulfate de soude ;
« séchez-le et exposez-le au rouge sombre ; il se produit ainsi
« un oxyde de fer très-pur et très-divisé. On mélange intime-
« ment une partie de cet oxyde avec quatre parties de nitre
« sec réduit en poudre fine, et l'on introduit ce mélange dans
« un creuset pouvant contenir le double du mélange ; on lute
« un couvercle hermétiquement, en ménageant quelques petits
« trous dans le lut pour laisser échapper les gaz, et on soumet
« le tout, pendant une heure environ, si l'on agit sur 200
« grammes, au *rouge vif* : la durée de la calcination dépend
« beaucoup de la quantité, mais la température ne devra
« jamais excéder le rouge vif. Lorsqu'il est bien préparé, le

(1) *Phil. Mag.*, t. XXIII, p. 219 ; 1843.

« ferrate est en masse poreuse d'un brun rougeâtre foncé qui « devient rapidement déliquescente à l'air, de sorte qu'il con- « vient de le réduire en poudre, tandis qu'il est encore chaud; « on peut alors le conserver dans des flacons bien bouchés, « aussi longtemps qu'on voudra. »

On recommande, pour le dissoudre, l'usage d'eau glacée. Le ferrate de potasse qui résulte de l'action du nitre sur le fer est toujours mélangé, suivant M. Frémy, avec un peu de peroxyde de potassium, qui se décompose dès que la masse est traitée par l'eau. Le ferrate de potasse se prépare encore en chauffant longtemps et d'une manière continue dans un courant d'air, ou mieux d'oxygène, un mélange de potasse et d'oxyde de fer; en exposant un mélange de peroxyde de potassium et de sesquioxyde de fer au rouge dans un creuset de fer; enfin, en calcinant dans un creuset de fer un mélange de sesquioxyde de fer, de nitre et de potasse. On peut le préparer par la voie humide en faisant passer lentement du chlore à travers une solution concentrée de potasse contenant du sesquioxyde hydraté en suspension. On ajoute de temps en temps des morceaux de potasse, car le ferrate se forme seulement dans des solutions très-fortement alcalines. Le liquide s'échauffe et une quantité considérable d'oxygène se dégage. M. Poggendorff a obtenu du ferrate de potasse en cristaux microscopiques sur une plaque de fonte immergée dans une solution d'une partie de potasse et de quatre parties d'eau; elle jouait le rôle d'électrode positive dans un courant fourni par six éléments d'une batterie de Grove; une plaque de platine servait d'électrode négative. Le platine était renfermé dans un élément poreux rempli d'une solution de potasse et plongé dans la solution indiquée.

Le ferrate de soude peut facilement se recueillir par ce dernier procédé, mais non par la voie sèche; il n'est pas précipité par un excès de soude : sa solution est rouge et ressemble à celle du ferrate de potasse.

Le ferrate de baryte se précipite quand on ajoute de l'azotate de baryte ou du chlorure de barium à une solution de ferrate de potasse ; sa couleur est d'un beau rouge pourpre ; il est insoluble dans l'eau et beaucoup plus stable que les ferrates solubles. On peut le faire bouillir pendant quelque temps dans l'eau, sans qu'il se décompose. Les matières organiques n'agissent que faiblement sur lui, et on peut même le laver sur un filtre en papier. Les acides énergiques le détruisent, en formant des sels de fer et de baryte et en mettant l'oxygène en liberté. L'acide acétique dilué le dissout en produisant une belle solution rouge, dont la couleur disparaît par la chaleur ; l'acétate de sesquioxyde de fer se constituant, l'oxygène demeure libre.

Le ferrate de potasse ne forme pas de précipité avec les sels de strontiane, de chaux ou de magnésie. Il est décomposé par les sels ayant des oxydes métalliques pour bases et pouvant atteindre un plus haut degré d'oxydation, tels que les sels de manganèse, de nickel, de cobalt, etc., les oxydes plus élevés de ces métaux se précipitent. M. Denham Smith a obtenu des solutions de sels de potasse et de soude d'un vert-émeraude, où il suppose que le fer se trouvait à un état d'oxydation moins élevé que dans l'acide ferrique. Une moindre proportion, la moitié environ d'azotate de potasse, semble être une condition favorable pour obtenir du sel vert, qui devient beaucoup plus stable que le ferrate et subsiste après que le dernier a été détruit par l'ébullition.

M. Frémy a été le premier à reconnaître distinctement la nature de l'acide ferrique, quoique l'on connût longtemps avant lui que l'action du nitre sur le fer à une chaleur rouge, communiquait à l'eau une couleur rouge foncée. Stahl, dit-on, avait observé ce fait (1). Dans l'excellente traduction par le docteur Lewis, de l'ancien Traité de Chimie de Neumann, on trouve la note suivante du traducteur :

« *Fer et nitre*. — On rend ainsi une partie de fer soluble dans l'eau avec le

(1) Gmelin, *Handb.*, t. V, p. 265.

« sel rendu alcalin. Un mélange de parties égales de limaille de fer et de nitre « introduit dans un creuset fortement chauffé et jeté dans l'eau détonne et « communique à la liqueur une teinte violette ou bleue rougeâtre. Cepen- « dant cette solution n'est pas permanente. Quoique la liqueur passe d'abord « sur un filtre sans qu'il se sépare du fer, si on l'abandonne pendant quel- « ques heures au repos, le métal tombe au fond sous forme d'une poudre « rouge-brique. Il est assez surprenant que les alcalis volatils précipitent in- « stantanément le fer de cette solution alcaline fixe (1) »

FER ET EAU.

L'eau, à la température ordinaire, n'agit pas sur le fer, même à l'état le plus divisé, pourvu que l'air soit exclu; mais le métal pulvérulent décompose l'eau bien au-dessous de 100° C. M. Dick a fait à ce sujet des expériences dans notre laboratoire; il a constaté qu'avec du fer provenant de sesqui-oxyde réduit par l'hydrogène à une température basse, la décomposition commence à 55° C., et que l'action augmente à mesure que la température s'élève. L'hydrogène se dégage et il se forme de l'oxyde magnétique. Le fer ainsi réduit, qui fut trouvé parfaitement exempt d'oxyde, étant porté à l'ébullition dans l'eau, fut agité dans une solution parfaitement neutre de chlorure de cuivre (CuCl) et de chlorure de sodium. Un peu de fer métallique qui avait échappé à l'oxydation, se dissout, et il reste une substance noire, sensible à l'aimant, se dissolvant sans effervescence dans l'acide chlorhydrique, en donnant naissance à du protochlorure et à du sesquichlorure de fer. La solution désignée plus haut peut servir à reconnaître si la réduction par l'hydrogène est complète; car le produit se dissout promptement et entièrement lorsqu'il est exempt d'oxyde insoluble dans cette solution. On a constaté que le fer réduit par l'hydrogène décompose l'eau, quand on chauffe en présence de la potasse et de l'ammoniaque.

(1) *The Chemical Works of Caspar Neumann, M. D., professor of chemistry at Berlin, F. R. S., etc. Abridged and methodized, with large additions containing the latest discoveries and improvements made in chemistry and the arts depending thereon. By William Lewis. M, B, F. R, S, London*, p. 73; 1749.

L'expérience suivante a été faite par M. Dick afin de démontrer que l'eau, à la température ordinaire, n'a aucune action sur le fer à l'abri de l'air. Il fit passer un courant d'hydrogène pur dans un tube en verre étiré aux deux bouts et contenant une petite lamelle de fer propre et brillante dans de l'eau distillée préalablement bouillie. Le tube fut ensuite hermétiquement fermé, en commençant par l'extrémité la plus éloignée du générateur à gaz. Cet essai eut lieu au mois d'avril, et la plus légère trace de rouille n'était pas visible au mois d'octobre suivant, ni même un an ou deux plus tard. Quand le fer est exposé à l'action simultanée de l'air et de l'humidité, aux températures ordinaires, l'oxydation ou la rouille se produit; mais il paraîtrait que la condition de cette oxydation réside dans le contact effectif de l'eau à l'état liquide avec la surface du métal. Au Musée de géologie pratique de Londres, on peut voir de nombreux échantillons de fer exposés dans des vitrines depuis une douzaine d'années, et quoique ces vitrines aient été souvent ouvertes, les surfaces des cassures sont aussi brillantes que le premier jour. Le Musée est chauffé par des calorifères à eau chaude, et la condensation de l'humidité sur ces objets a été par cela même empêchée. C'est l'oxygène en solution dans l'eau qui paraît déterminer la rouille, en premier lieu; mais l'action une fois commencée continue dans l'air humide sans autre dépôt d'eau.

La présence, même en proportions minimes, de divers corps étrangers tels que l'hydrogène sulfuré, le chlore et les acides chlorhydrique et acétique, détermine la rouille dans l'air humide, quoique l'eau à l'état liquide ne touche pas la surface métallique; mais l'acide carboniqne en petite quantité et l'ammoniaque sont sans action (1). La rouille du fer, qui est du sesquioxyde hydraté, contiendrait toujours de l'ammoniaque, ce qui s'expliquerait par la décomposition de

(1) Bonsdorff, *Répertoire de Chimie*, t. IV, p. 171; tiré des *Ann. der Chem.*

l'eau au contact de l'oxyde et du fer métallique; l'oxygène se combine avec ce dernier, et l'hydrogène, en partie au moins, s'associe à l'état naissant à l'azote de l'air. Mais, si le sesquioxyde hydraté jouit de la faculté spéciale de retenir l'ammoniaque, ou comme le prétend Berzélius, de se combiner avec cet alcali, il faudrait, pour expliquer ainsi sa formation, qu'il fût démontré que la rouille de fer ne l'a pas emprunté à l'atmosphère qui le contient invariablement. Quand le fer est immergé à quelque profondeur dans de l'eau dont la surface est exposée à l'air, il se forme de l'oxyde magnétique hydraté noir; car, dans ce cas, selon M. Wöhler, l'oxygène atmosphérique atteint lentement le métal par l'intermédiaire de l'eau, et le sesquioxyde hydraté, à mesure qu'il se produit lentement, amène le fer à décomposer l'eau et à former du protoxyde de fer avec lequel le sesquioxyde se combine. C'est là peut-être une explication, mais, à nos yeux, c'est plutôt une simple expression du fait. On a constaté que des solutions aqueuses de potasse, de soude et d'ammoniaque préservent le fer de la rouille, pourvu qu'elles ne soient pas trop diluées. M. Payen affirme qu'une partie en volume d'eau saturée d'hydrate de potasse à 22° C. suffit pour communiquer cette action préservatrice à 2000 parties d'eau en volume, et qu'il en est de même d'une solution formée d'une partie en volume d'une solution saturée de carbonate de soude avec un nombre quelconque de parties d'eau, inférieur toutefois à 54. L'alcali perd cette faculté quand il est converti en bicarbonate. Selon Hall, l'eau ne contenant qu'un cinquième de son volume d'eau de chaux préserve le fer de la rouille (1).

En l'absence d'air atmosphérique, l'acide carbonique en solution dans l'eau dissout le fer, dit-on, avec dégagement de gaz hydrogène. Le carbonate de protoxyde de fer formé est tenu en solution par l'excès d'acide carbonique; quand

(1) Gmelin, *Handb.*, t. V, p. 185. Nous n'avons pas consulté les textes originaux sur les assertions qui précèdent.

celui-ci est chassé, il se précipite et, avec l'accès de l'air, se convertit graduellement en sesquioxyde de fer (1). C. von Hauer a trouvé qu'en faisant passer un courant d'acide carbonique pendant plusieurs heures, à la pression atmosphérique ordinaire, à travers de l'eau dans laquelle était suspendu du fer très-finement divisé, — tel qu'on l'obtient en chauffant au rouge de l'oxalate de protoxyde de fer, ou en réduisant l'oxyde de fer par l'hydrogène, — la solution contenait 0.091 pour 100 de carbonate de protoxyde. Cette action dissolvante paraît être empêchée par la présence de carbonates alcalins (2).

Le zinc en contact avec le fer retarde la rouille ; l'étain, au contraire, la favorise. A l'appui de cette assertion, feu Richard Phillips nous a fait connaître ses expériences comparatives, en exposant à l'action simultanée de l'air et de l'eau des plaques de fer revêtues respectivement d'une couche de zinc et d'étain partiellement décapées par grattage, de manière à mettre à nu la surface du métal.

On est dans l'habitude, pour conserver au fer son poli brillant, d'enduire la surface d'huile d'olive ou d'un corps gras, ou d'y appliquer une couche de vernis. Il y a quelques années, un de nos amis, fabricant pour l'exportation de cylindres de laminoirs à surface très-polie, nous informait que plusieurs cylindres lui avaient été renvoyés à cause de leur état de rouille au moment de la réception, et qu'il avait perdu des sommes considérables seulement en frais de transport. Il avait pris la précaution de bien les enduire d'une couche de graisse, et de les envelopper dans de la paille; et malgré cela la rouille s'était produite. Nous avons fait ensemble plusieurs essais, et nous avons trouvé que de la résine ordinaire, fondue avec un peu d'huile de Gallipoli et de l'essence de térébenthine, protégeait les pièces d'une manière très-efficace. Les proportions doivent

(1) Golfier-Besseyre, *L. u. K. Jahresb.*, p. 358; 1851.
(2) *L. u. K. Jahresb.*, p. 189; 1860.

être telles, que le mélange forme une couche qui adhère solidement, sans s'écailler, et puisse être facilement détachée en la grattant avec précaution. Nous ne nous souvenons plus des proportions, mais elles pourront être bien vite retrouvées, après quelques tâtonnements. Ce mélange avait empêché toute formation de rouille pendant de longs voyages en mer, et notre ami n'a plus eu à regretter aucune autre perte de ce chef. Il se peut qu'on ait eu recours longtemps auparavant à ce procédé, et notre seule raison, en le publiant ici, est qu'il peut être ignoré de quelques personnes à même de l'appliquer avec fruit (1).

A une chaleur rouge, ou à des températures plus élevées, le fer décompose l'eau rapidement; de l'hydrogène se dégage et de l'oxyde magnétique (Fe^3O^4) se produit en petits cristaux octaédriques. Nous avons vu de magnifiques cristaux d'oxyde magnétique obtenus de la sorte, sous l'influence de conditions accidentellement favorables. Plus la température est élevée, plus les cristaux sont beaux, pourvu que le courant de vapeur ne soit pas trop fort et qu'on le règle avec soin.

FER ET SOUFRE.

Le fer a beaucoup d'affinité pour le soufre. Ces deux élé-

(1) *Curieux accident aux chantiers de Portsmouth.* — Dans la partie nord-est des chantiers de Portsmouth, en face des terrains qui entourent la maison de l'amiral surintendant, se trouve un grand réservoir en fer supporté au-dessus des magasins à planches par des colonnes de fer. Il a 40 mètres de long sur 10 de large et 1 mètre environ de profondeur; on le tient constamment rempli d'eau salée, afin d'éteindre tout incendie dans les environs. Mercredi soir, à sept heures et demie, le bruit se répandit qu'il s'était crevé et que l'eau précipitée faisait de grands ravages sur les routes et dans les terrains et jardins attenant à la demeure de l'amiral surintendant. On trouva, examen fait, que sur une étendue de près de 18 mètres les plaques de fer qui formaient l'un des côtés du réservoir s'étaient effondrées et qu'elles avaient été entraînées par le courant sur les chemins. Le réservoir était formé de plaques de fonte rivées comme d'ordinaire avec des boulons, des écrous, etc. Quelques plaques s'étaient déchirées aux joints, les écrous ayant été arrachés par la pression de l'eau, de l'extrémité taraudée des boulons. Ailleurs, les plaques de fer s'étaient brisées diagonalement, comme de la poterie. On évaluait le poids de l'eau dans le réservoir à 890 tonnes et la pression contre la paroi du réservoir qui avait cédé, à près de 50 tonnes. Un examen minutieux des parties brisées démontra ce fait assez extraordinaire, que les tirants en fer forgé, à l'intérieur du réservoir, avaient été rongés à leurs points d'attache avec les plaques de fonte, là où ils avaient été immergés dans l'eau salée. (*Times*, 19 juin 1863.)



ments se combinent au rouge avec une vive incandescence. Une très-belle expérience, bien que souvent répétée, consiste à chauffer un barreau de fer dans un feu de forge jusqu'à ce qu'il commence à lancer des étincelles, puis à le retirer du feu et à le toucher avec un bâton de soufre; le fer brille alors du plus vif éclat et se fond de suite en gouttes de sulfure. Il existe plusieurs sulfures définis de fer. On a fait les expériences suivantes dans notre laboratoire, afin de se rendre compte de la formation directe du sulfure de fer par la *voie humide*. Les mélanges s'opéraient dans des tubes de verre hermétiquement fermés et on les examinait longtemps après. De la limaille de fer plongée dans une solution de polysulfure de potassium, fut lavée à l'eau et dissoute complétement dans l'acide chlorhydrique, en ne laissant dégager que des traces d'hydrogène sulfuré.

On immergea dans une solution de polysulfure de potassium une petite lame de tôle (11 février 1853), et l'on boucha le flacon avec une feuille de caoutchouc afin d'en exclure l'air. En janvier 1863, on ouvrit le flacon et l'on constata les changements suivants : des cristaux de soufre d'un jaune pâle, semi-transparents, s'étaient réunis au fond de la solution. Le fer était revêtu d'une substance d'un noir foncé extérieurement et d'un aspect mamillaire; en ployant le fer, on remarqua qu'il était entièrement rongé, sauf sur une petite partie au centre, et qu'il s'était converti en un sulfure compacte, peu métallique, de couleur bronzée, et insensible à l'aimant. On ôta soigneusement la pellicule noire extérieure; on lava aussitôt le sulfure dans l'eau, on le sécha entre du papier buvard, et M. Smith l'examina : la poudre était noire, mais virait insensiblement au brun quand on la gardait dans un tube de verre fermé. Elle s'attaquait lentement, par digestion dans l'eau froide, tandis que l'eau chaude en dissolvait promptement un sulfure alcalin. Elle se décomposait dans l'acide chlorhydrique avec dégagement d'hydrogène sulfuré et séparation d'une petite quantité de

soufre. Desséchée à 100° C. environ, elle perdait 5 pour 100 d'eau, et la poudre paraissait intacte. Elle contenait pour cent :

	1.	2.	Calculé sur le produit séché à 100° C.
Fer	52.68	52.60	55.41
Soufre	29.90	»	31.48

En supposant que le fer et le soufre existent à l'état de protosulfure de fer, 55.41 de fer exigeraient 31.64 de soufre pour former FeS. On trouva également du potassium. Là se bornèrent les observations, à cause de la petite quantité de substance qui avait été recueillie ; et comme le sulfure de fer fondu en poudre est attaqué par une solution bouillante de potasse en donnant naissance à du sulfure alcalin, il n'est pas permis de préciser l'état sous lequel se trouve le potassium.

Une petite lame de fer poli, plongée dans une solution d'hyposulfite de soude (NaO,S^2O^2), était devenue tout à fait noire. L'acide chlorhydrique dissolvait la croûte noire avec dégagement d'hydrogène sulfuré, de sorte qu'il s'était formé du sulfure de fer. Du sesquioxyde de fer, à l'état d'hématite rouge réduite en poudre, grossière ou fine, n'avait éprouvé aucun changement.

Sulfure minimum. Fe^8S. — On a admis l'existence de ce sulfure minimum sur l'autorité d'Arfvedson qui le décrit comme une poudre d'un gris noirâtre, produisant une raie d'un gris métallique par le frottement contre un corps dur. Il contient 6.67 pour 100 de soufre. Les gaz qui s'en dégagent par l'action des acides dilués, consistent en 7 volumes environ d'hydrogène et 1 volume d'hydrogène sulfuré. On le prépare en réduisant par l'hydrogène du sous-sulfate de sesquioxyde de fer ($2Fe^2O^3, SO^3$) chauffé au rouge : il s'en échappe de l'eau, de l'acide sulfureux et une grande quantité d'hydrogène sulfuré. Du soufre proviendrait, en outre, de l'action réciproque des deux gaz.

SOUS-SULFURE DE FER. Fe^2S. — Ce sulfure fut aussi découvert par Arfvedson; par ses caractères extérieurs il ressemble au dernier et se prépare de la même manière, en substituant du sulfate de protoxyde de fer anhydre au sous-sulfate de sesquioxyde. Il est très-attirable à l'aimant, se dissout dans les acides dilués avec dégagement d'hydrogène et de gaz sulfhydrique à volume égal. Lorsqu'on chauffe l'un ou l'autre de ces sous-sulfures à la chaleur rouge, dans un courant d'hydrogène sulfuré, ils se convertissent en un sulfure plus élevé, de même composition que la pyrite magnétique naturelle.

PROTOSULFURE DE FER. FeS. — On peut obtenir ce sulfure en chauffant ensemble du soufre et du fer. On le prépare en grand en chauffant au rouge, dans des creusets, des copeaux de fer forgé et en introduisant de temps à autre du soufre, en ayant soin d'interdire autant que possible l'accès de l'air. Les déchets que les fabricants de boutons de Birmingham retirent en grandes quantités, conviennent parfaitement pour cette fabrication : ce sont des tôles très-minces perforées ayant servi à faire les flans. Cependant il n'est pas facile d'obtenir par ce procédé un protosulfure défini, même en le refondant avec du soufre; il est sujet à contenir un excès de fer, et par cela même, à dégager, par l'action des acides dilués, du gaz hydrogène, indépendamment de l'hydrogène sulfuré. Afin d'obvier à cet excès, on recommande de maintenir la température pendant l'opération, au-dessous du point de fusion du sulfure une fois formé. Dans ce cas, il faut se servir de fer feuillard ou de tôle assez épaisse pour qu'à froid on puisse en détacher les écailles de sulfure en ployant et reployant le métal sur lui-même. Si, au contraire, il y a excès de soufre, on obtient du sulfure de fer, qui, en se dissolvant dans les acides dilués, laisse un résidu de soufre (1). Du protosulfure de fer préparé dans notre laboratoire par M. Hoch-

(1) Berzélius, *Traité*, t. II, p. 680.

stätter, d'après les indications de Berzélius, contenait 60.63 pour 100 de fer, c'est-à-dire 3 pour 100 de moins que le protosulfure défini; sa poussière était peu sensible à l'aimant. D'autre part, le protosulfure obtenu également dans notre laboratoire par M. Weston, par la méthode ordinaire, contenait 70.1 pour 100 de fer, c'est-à-dire 6.5 pour 100 de plus que le protosulfure défini; la poussière n'était pas attirée par l'aimant. M. Hochstätter a préparé du sulfure de fer contenant 62.32 pour 100 de fer, en versant du soufre sur une lame mince de fer chauffée au rouge vif dans un creuset, et en laissant le produit se refroidir. Ce produit, réduit en poudre fine, refondu avec un excès de soufre et abandonné au refroidissement dans le creuset, fut traité de la même manière. M. Weston avait versé le sulfure fondu dans une lingotière, ce qui, sans aucun doute, avait occasionné une perte de soufre. On obtient du protosulfure de fer quand le bisulfure (FeS^2) a été exposé, dans un creuset couvert, à une forte chaleur rouge; la moitié du soufre est chassée. On peut le préparer encore en chauffant ensemble, dans les proportions voulues, du bisulfure de fer que l'on trouve en abondance à l'état naturel, et du fer métallique; quand on cherche seulement à faire de l'hydrogène sulfuré pour précipiter certains métaux de leur solution, on peut parfaitement adopter cette méthode par motif d'économie. On consomme dans ce but beaucoup d'hydrogène sulfuré pour certaines opérations métallurgiques, et comme la présence de l'hydrogène libre ne nuit pas à l'action, il importe peu que le sulfure de fer ait une constitution atomique définie.

Le protosulfure de fer ainsi préparé est très-fragile, à cassure inégale, d'une structure grenue, grossière et non cristalline, d'un gris bronzé foncé, d'un éclat très-faiblement métallique, et insensible à l'aimant. Il est fusible à la chaleur rouge, et très-fluide quand il est fondu, mais il ne pénètre pas, comme la galène, les creusets d'argile. Il est fixe et ne se

décompose pas aux températures les plus élevées, quand l'air est exclu. Il ne s'altère pas dans l'air sec; mais à l'air humide il absorbe de l'oxygène, en dégageant beaucoup de chaleur, et se convertit lentement en sulfate de protoxyde de fer. Il se dissout facilement dans les acides étendus, avec dégagement d'hydrogène sulfuré.

Le protosulfure de fer se précipite à l'état de substance noire, amorphe, floconneuse, par l'addition du sulfure d'ammonium ou du monosulfure de potassium ou de sodium dans les solutions aqueuses neutres des protosels de fer. Il n'est pas redissous par un excès du précipitant; cependant, dans certaines conditions, il se produit une liqueur transparente, d'un vert foncé, qui, après un repos de courte durée, perd sa couleur verte et dépose des flocons noirs de protosulfure. Ainsi, dans la préparation de l'outremer artificiel, quand on lave sur le filtre le produit qui résulte tout d'abord, par la méthode ordinaire, de la calcination d'un mélange de kaolin, de carbonate de soude et de soufre, une solution limpide d'un vert foncé passe à travers le filtre et ne tarde pas à se colorer en jaune brun, ce qui est un signe caractéristique que la solution de sulfure alcalin contient plus de soufre que le monosulfure. M. Bunsen signale particulièrement ce fait, dans son remarquable mémoire sur les phénomènes pseudo-volcaniques de l'Islande. « Quiconque est familier, écrit-il, avec les recherches analy-« tiques, connaît la facilité avec laquelle ces corps (les polysul-« fures alcalins) dissolvent les traces les plus légères de pro-« tosulfure de fer avec une teinte verte, et peuvent encore, « grâce à des circonstances particulières, le laisser déposer (1). Cependant M. H. Rose admet que la solution verte contient un sulfure de fer à un degré de sulfuration plus élevé que le protosulfure de fer. Cette action dissolvante permettra peut-être un jour d'expliquer la présence de l'or à l'état de division extrême

(1) *Chemical Memoirs and Reports. Cavendish Society*, p. 341 ; 1848.

dans certaines variétés de pyrite de fer, qui, tout porte à le croire, ont été déposées après avoir été en dissolution : le sulfure d'or est, comme on le sait, un acide énergique formant des sels solubles avec les sulfures alcalins. On représente le protosulfure de fer précipité comme un hydrate, mais nous ignorons si l'on a démontré l'existence d'un pareil composé à l'état défini. La même variété de sulfure provient de l'action de l'eau saturée d'hydrogène sulfuré ou des solutions aqueuses de polysulfures alcalins sur le fer métallique, ou d'un mélange de limaille de fer, de soufre et d'eau. On formait jadis les soi-disant volcans artificiels de Lemery en enterrant ce mélange en grande masse, à une petite profondeur dans le sol ; quelques heures après, la masse devenait incandescente. Un mélange de limaille de fer et de soufre, humecté d'eau, absorbe l'oxygène avec une grande rapidité, et il se forme du sulfate de protoxyde de fer. C'est d'un pareil mélange que Scheele se servit dans ses expériences sur la composition de l'air atmosphérique. Il se produit aussi par les matières organiques, telles que les feuilles, au contact d'une solution de sulfate de protoxyde de fer. Il s'oxyde rapidement quand il est exposé à l'air, avec formation de sesquioxyde hydraté de fer, d'eau, d'un peu d'acide sulfurique et mise en liberté de soufre. L'action est énergique, et il y a assez de calorique dégagé pour que, si la masse est considérable, l'inflammation ait lieu. Comme on pouvait le supposer, il se dissout beaucoup plus rapidement dans les acides dilués que le sulfure préparé par la voie sèche. Il décompose les sels de cadmium, de plomb, de cuivre et d'argent, en convertissant ces métaux en sulfures (1).

Lorsque le protosulfure de fer est fortement chauffé avec du fer métallique, on obtient des produits homogènes, en apparence bien fondus, contrairement à ce que l'on aurait pu attendre des résultats d'expériences identiques faites avec le sous-

(1) Anthon. Gmelin, *Handb.*, t. V, p. 230.

sulfure de cuivre et le cuivre métallique. On avait préparé le sulfure de fer en chauffant ensemble du fer laminé mince et du soufre; le composé n'était pas attirable à l'aimant, et il avait exactement le même aspect que le protosulfure défini, bien qu'il ne contînt que 29.9 au lieu de 36.36 pour 100 de soufre correspondant au protosulfure. Sa composition pourrait donc se représenter par la formule $Fe^2S + 2FeS$. Les essais suivants ont été faits en fondant ensemble dans un creuset d'argile, sous du verre pilé, du fil de fer fin, coupé en petits morceaux, avec le sulfure de fer indiqué :

N° 1.	Fil de fer.	124.36	grammes.
	Sulfure de fer en poudre, contenant 29 pour 100 de soufre.	62.18	—

On recueillit un produit bien fondu recouvert d'une scorie noire vitreuse ; il était très-cristallin et d'apparence homogène dans toute la masse; il avait perdu 5gr.18 en poids; sans perte, il eût contenu 9.96 de soufre.

N° 2.	Fil de fer.	93.27	grammes.
	Sulfure de fer (le même que dans la première expérience). . .	93.27	—

Le produit était bien fondu, couvert d'une scorie noire, et cristallin comme le précédent, quoique à un degré plus élevé; il avait donné 6.48 grammes en poids; sans perte, il eût contenu 14.95 pour 100 de soufre. Il n'y avait, dans aucun cas, d'indices de séparation en deux couches. Ainsi, le sulfure de fer paraît se dissoudre dans le fer, en proportions très-variables.

Protosulfure de fer exposé à l'action de l'hydrogène à une température élevée. — Chauffé dans l'hydrogène, il ne se décompose pas.

Protosulfure de fer exposé à l'action de la vapeur d'eau à une température élevée. — Chauffé au rouge dans un courant de vapeur, il se décompose avec beaucoup plus d'énergie que le

sous-sulfure de cuivre; de l'hydrogène et du gaz acide sulfhydriques se dégagent, et il reste une substance noire, qui est partiellement attirée par l'aimant. M. Regnault a trouvé qu'en opérant sur 4 grammes, dans un tube en verre, pendant trois heures, la moitié du soufre seulement disparaissait. L'hydrogène libre résulte de la décomposition de l'eau par le protoxyde de fer formé au début de la réaction (1).

Protosulfure de fer chauffé avec du charbon. — Chauffé très-fortement au contact du charbon, il abandonne une petite quantité de soufre, qui se dégage probablement à l'état de bisulfure de carbone (2). Les expériences suivantes ont été faites dans notre laboratoire par M. Hochstätter. Le protosulfure de fer était le même que celui mentionné (p. 50), et contenait 60.63 pour 100 de fer, c'est-à-dire 3 pour 100 de moins que le composé défini FeS. Il fit chauffer dans un creuset brasqué couvert $16^{gr}.19$ de ce sulfure, sous une couche de charbon en poudre, à une forte chaleur blanche, pendant deux heures et demie. Le culot, parfaitement fondu, pesait $14^{gr}.90$; il avait une cassure cristalline d'une couleur bronze foncé; il était magnétique et se dissolvait facilement dans l'acide chlorhydrique, avec dégagement abondant d'hydrogène sulfuré. Au fond de ce culot se trouvait un globule pesant $0^{gr}.78$, qui avait les caractères suivants : dur, brillant, d'une cassure blanc d'argent et très-magnétique; il se dissolvait partiellement dans l'acide chlorhydrique concentré bouillant, mettant en liberté de l'hydrogène sulfuré et de l'hydrogène et laissant une poussière noire comme résidu. Cette poussière, bouillie avec de l'acide chloronitrique, se transformait en une poudre blanche, qui se dissolvait complétement par l'ébullition dans une solution de carbonate de soude; c'était donc de la silice. On recommença deux fois l'expérience, et les mêmes résultats furent constatés. On analysa les gros culots et les petits globules de

(1) Regnault, *Ann. des Mines*, 3e série, t. XI, p. 45.
(2) Berthier, *Traité*, t. I, p. 488, et t. II, p. 191.

chaque essai ; on trouva les résultats suivants de trois expériences n[os] 1 à 3 :

Numéros.	POIDS du protosulfure employé.	POIDS du culot avec globules.	POIDS des globules.	PERTE en poids p. 100.	COMPOSITION du culot pour 100.		FER dans les globules p. 100.
					Fer.	Soufre.	
	gr.	gr.	gr.				
1	16.19	14.90	0.78	0 8	66.04	indét.	87.26
2	12.95	10.69 (1)	non pesé	17.5	66.11	id.	indét.
3	10.36	9 33	id.	10.0	66 25	33.55	id.
Moyenne...........................					66.13		

(1) On ne put réunir tous les globules.

N° 4. — Un mélange intime de 97[gr].16 de protosulfure de fer fut soumis, en présence d'un fort excès de charbon, dans un creuset brasqué couvert, à une chaleur blanche, pendant trois heures. Le produit consistait en petits globules de sulfure répandus dans le charbon ; ces globules, étant magnétiques, furent séparés par un barreau aimanté, puis refondus en un seul culot dans un creuset de plombagine. Au bas de ce culot se trouvaient quelques globules, comme dans les essais précédents. Le culot tenait 67.09 pour 100 de fer; les globules 89.53 de fer et 9.41 de silicium pour 100. Tous deux dégageaient de l'hydrogène sulfuré et de l'hydrogène libre, par l'attaque à l'acide chlorhydrique.

La composition du culot peut se représenter par la formule FeS + 6FeS, d'où la composition pour 100 serait 66.66 de fer et 33.34 de soufre.

En prenant la moyenne du fer résultant des trois premières expériences, la perte du soufre sur 100 parties du protosulfure primitif est de 8.32, et sur 100 parties de soufre de 21.13.

Protosulfure de fer chauffé avec du sesquioxyde de fer. — Il n'y a pas de fer métallique séparé lorsque le protosulfure de fer est chauffé, même à des températures très-élevées, en mélange dans toutes proportions avec le sesquioxyde. Berthier supposait que le sesquioxyde se réduisait en protoxyde, avec

formation d'acide sulfureux et d'oxysulfure de fer; mais cette supposition n'est pas fondée, comme le prouvent les expériences suivantes de M. Hoschstätter, qui employa du sesquioxyde de fer artificiel et du protosulfure de fer préparé par voie de fusion et contenant un peu de soufre en excès, soit 3 pour 100 :

Dosage des mélanges.	Sulfure de fer en grammes.	Oxyde de fer en grammes.
Nos 1. $FeS+10Fe^2O^3$	0.71	12.95
2. $FeS+5Fe^2O^3$	1.42	12.95
3. $2FeS+3Fe^2O^3$	5.70	15.55

On mélangea intimement le sulfure et l'oxyde de fer, et on chauffa le mélange dans un creuset d'argile couvert, renfermé dans un autre creuset de graphite également couvert, en remplissant l'espace intermédiaire d'argile réfractaire calcinée et pilée. Ces épreuves ont donné les résultats suivants :

N° 1. Chauffé pendant une heure à une chaleur rouge modérée : il se produisit une masse frittée, légèrement cohérente, que l'on détacha facilement et complétement du creuset. L'aimant agissait sur toute la masse, qui ne contenait qu'une très-petite quantité de soufre; la perte en poids était de 0gr.52. Il y avait, on le remarquera, un excès de 3 pour 100 de soufre dans le sulfure de fer employé pour ces expériences, de sorte que le rapport entre le soufre et l'oxygène n'était pas exactement celui qu'indique la formule. On recommença l'essai avec 19gr.45 d'oxyde de fer au lieu de 12gr.95; le produit ressemblait à celui du premier, mais il ne montrait aucune trace de soufre. A l'essai par la voie humide, il donna 70.7 pour 100 de fer, soit, seulement 1.7 pour 100 de moins que l'oxyde magnétique pur : il contenait un peu de silice. La formule suivante expliquera la réaction :

$$FeS+10Fe^2O^3=7Fe^3O^4+SO^2.$$

N° 2. On opéra à la même température. Le produit consistait en une masse frittée sensible à l'aimant, pouvant facile-

ment se retirer du creuset : il retenait une quantité considérable de soufre.

N° 3. On soumit le mélange à une forte chaleur rouge pendant une heure. La masse était noire, bien fondue, à cassure vitreuse, entremêlée de parcelles de sulfure de fer. Le creuset d'argile avait beaucoup souffert.

Protosulfure de fer chauffé avec du sulfate de protoxyde ou de peroxyde de fer. — Il se décompose quand on le chauffe avec un sulfate de même métal, et l'acide sulfureux se dégage abondamment; si le mélange est opéré dans des proportions convenables, on ne trouve dans le résidu ni acide sulfurique, ni soufre.

Ainsi, on obtient ce résultat, suivant Berthier, en chauffant graduellement à une chaleur blanche 2.4 grammes de protosulfure de fer avec 13.2 grammes de bisulfate anhydre de sesquioxyde ($Fe^2O^3,2SO^3$), soit dans le rapport de 1 à 3 équivalents.

Protosulfure de fer chauffé avec du protoxyde de plomb. — On doit les résultats suivants à Berthier (1). Pour scorifier une partie en poids de protosulfure de fer, il faut 30 parties de litharge, et le fer est oxydé seulement au minimum :

	Rapport des mélanges en grammes.			
	1.	2.	3.	4.
Protosulfure de fer. . . .	10	10	10	10
Litharge	60	125	250	300

N° 1. Le produit était pâteux, en masse scoriforme, d'un gris métalloïde, et très-magnétique : il consistait en sulfure et en protoxydes de fer et de plomb.

N° 2. Le produit consistait en une scorie très-fluide, d'un noir métalloïde, opaque, à cassure luisante, très-magnétique, et comprenait en outre 36 grammes de plomb métallique.

N° 3. Scorie compacte, vitreuse, transparente, d'un beau rouge de résine, avec 67 grammes de plomb.

(1) *Traité*, t. I, p. 399.

N° 4. Produit semblable au précédent pour l'aspect, mais exempt de sulfure en combinaison; 70 grammes de plomb s'en étaient séparés.

Si, comme Berthier l'affirme, le fer se convertit seulement en protoxyde, on peut se demander d'où vient la propriété magnétique des nos 1 et 2. La belle couleur rouge qui caractérise les produits des nos 3 et 4, semble autoriser la conclusion que le fer avait été converti partiellement, pour ne pas dire entièrement, en sesquioxyde.

Protosulfure de fer chauffé avec du carbonate de potasse ou de soude. — Le protosulfure de fer, chauffé au rouge avec une ou deux fois son poids de carbonate de potasse ou de soude, se fond en une matière très-fluide qui se prend par le refroidissement en une masse homogène, noire, cristalline et très-magnétique. Quand on fait digérer ce composé dans l'eau, le sulfure alcalin se dissout avec un petit excès de soufre, mais sans traces de sulfate : d'où il suit que l'oxygène de l'oxyde alcalin converti en sulfure se combine entièrement avec le fer et aucunement avec le soufre, de manière que de l'oxyde de fer doit se trouver dans le produit de cette fusion.

Lorsqu'on chauffe le même mélange au contact du charbon, le résultat est différent et il se sépare du fer métallique qui se fond, si l'on chauffe suffisamment, en un culot facile à détacher des scories (1). Berthier a relaté l'expérience suivante :

Protosulfure de fer, 1 équiv. . .	= 10.80 grammes.
Carbonate de soude, 1 équiv. . .	= 13.32 —

Le mélange soumis, dans un creuset brasqué, à 150° (pyromètre de Wedgwood), a donné un culot de fonte de fer blanche, cristalline, mais s'aplatissant sensiblement sous le marteau avant de se briser; il pesait 5g.3, c'est-à-dire plus des quatre cinquièmes du fer contenu dans le sulfure. La scorie était lamelleuse, d'un noir métalloïde un peu bronzé ; elle s'était en partie infiltrée dans la brasque.

(1) Berthier, *Traité*, t. II, p. 192.

Protosulfure de fer chauffé avec un mélange de charbon et de baryte ou de chaux. — Le protosulfure de fer se réduit en grande partie quand on le chauffe dans un mélange de charbon de bois et de baryte ou de chaux ; mais, comme le sulfure double qui se forme est très-peu fusible, le fer métallique reste disséminé dans toute la masse, en particules à peine visibles(1).

Protosulfure de fer chauffé avec d'autres sulfures métalliques. — Il se combine, par *la voie sèche*, avec divers sulfures métalliques qui ne sont pas volatils à des températures élevées ; on en a des exemples dans les divers genres de régules produits dans la fonte du cuivre. Il se combine aussi, par *la voie sèche*, avec les sulfures alcalins et terreux ; mais jusqu'ici ces composés n'ont été étudiés que très-imparfaitement ; ils se décomposent par l'eau qui dissout le sulfure soluble et qui laisse le protosulfure de fer à l'état très-désagrégé. On les obtient aisément, soit en chauffant les sulfates mélangés dans des creusets couverts, soit en réduisant les mélanges des sulfates respectifs avec du charbon de bois.

Les deux expériences suivantes sont de Berthier (2) :

N° 1.	Protosulfure de fer.	37
	Sulfure de barium.	63

Fusible à 150° (pyr. W.), compacte, homogène, d'un gris métallique foncé, à cassure unie ou cristalline.

N° 2.	Protosulfure de fer.	51
	Sulfure de calcium.	49

Difficilement fusible à 150° (pyr. W.), boursouflé, d'un gris métallique peu éclatant.

M. Smith a fait les essais suivants au laboratoire métallurgique :

	Sulfure de plomb.	Protosulfure de fer.
1. $2PbS+FeS$	373gr.10	68gr.66
2. $PbS+FeS$	373 .10	137 .32
3. $PbS+2FeS$	373 .10	274 .64

(1) Berthier, *Traité*, t. II, p. 193.
(2) *Traité*, t. II, p. 192.

N° 1. Mélange fondu sous du charbon, agité avec une tige de bois et abandonné à un refroidissement lent. Deux couches distinctes dans le produit : couche supérieure cristalline, couleur de galène; couche inférieure, bien plus cristalline, foncée, moins éclatante.

N° 2. Mélange fondu avec du borax. Masse cristalline, gris bleuâtre foncé, sans indication de couches. Scorie noire, bordée sous la surface de beaux cristaux aciculaires.

N° 3. Masse cristalline, gris foncé, entièrement homogène comme le n° 2.

Protosulfure de fer chauffé avec de la silice. — Les essais qui suivent ont été faits à notre laboratoire par M. Hochstätter. Il mélangea par trituration 38gr.86 de protosulfure de fer à 62.4 pour 100 de fer avec 97gr.16 de sable blanc fin. Le mélange, soumis pendant deux heures, dans un creuset de terre couvert, à une chaleur blanche, donna une masse frittée consistant apparemment en sulfure non altéré et en silice.

Une partie de la masse fut mise à digérer avec de l'acide chlorhydrique, jusqu'à ce que toute la partie soluble eût été extraite; l'hydrogène sulfuré se dégageait abondamment, et le sulfure de fer dissous contenait 61.33 pour 100 de fer. La silice du résidu tenait 4.7 pour 100 de la totalité du fer du sulfure primitif; ce fer avait été extrait en le fondant avec du bisulfate de potasse. Cet essai permettrait de conclure que la silice, à une haute température, n'a pas d'action sensible sur le protosulfure de fer.

Protosulfure de fer chauffé avec de la silice et du charbon. — M. Hochstätter a mélangé, en les triturant bien, 38gr.86 de sable blanc fin et 19gr.43 de poussier de charbon de bois, avec 38gr.86 de protosulfure de fer en poudre fine, tenant 60.63 pour 100 de fer. Le mélange, chauffé au blanc pendant deux heures, dans un creuset de plombagine couvert, donna une masse peu cohérente, parsemée de globules métalliques, grands et petits. On retira ces globules en promenant sur la masse un

barreau aimanté; on les dégagea autant que possible du sable et du charbon adhérents, puis on les fondit avec un peu d'alumine dans un creuset couvert. Les deux culots étaient durs et fragiles, à cassure légèrement grise, très-cristalline, mais terne par suite des plans de clivage à structure grenue. L'acide chlorhydrique attaque la poussière fine, en laissant dégager un peu d'hydrogène sulfuré. Il reste une grande quantité de matière insoluble, même après une ébullition prolongée dans l'acide chlorhydrique ou chloronitrique. Pour analyser ce produit, on fit fondre la poussière fine dans un creuset de platine avec un mélange de 1 partie de chlorate de potasse et de 4 parties de carbonate de potasse et de soude mélangés.

Les résultats de cet essai et de deux autres identiques sont consignés dans le tableau suivant : la pesanteur spécifique du culot provenant du dernier essai était égale à 6.88.

Numéros des essais.	POIDS DES MATIÈRES.			COMPOSITION DU CULOT POUR 100.			
	Sulfure de fer.	Silice.	Charbon de bois.	Fer par différence.	Silicium.	Soufre.	Perte p. 100 de soufre.
	gr.	gr.	gr.				
1	38.86	38.86	19.43	80.23	18.77	1.00	97.46
2	97.16 (1)	97.16	51.82	83.28	15.32	1.40	96.28
3	129.55 (1)	129.55	71.25	81.53	16.76	1.71	92.82

(1) Le sulfure de fer tenait 62.4 pour 100 de fer.

Il résulte de ces expériences que le protosulfure est presque entièrement décomposé à une haute température, par l'action simultanée de la silice et du carbone. Si l'on suppose que, dans chaque cas, le soufre résidu est combiné au fer d'après la formule $Fe^2S + 6FeS$ (voir p. 56), la composition des premier et troisième produits peut se représenter assez exactement par la formule Fe^3Si, et celle du deuxième par Fe^4Si. La composition pour 100, d'après ces formules, serait respectivement

Fe 79.1 et Si 20.9
Fe 83.46 et Si 16.54

Protosulfure de fer chauffé avec des silicates ou des borates

alcalins. — Berthier a constaté que les silicates et les borates alcalins qui contiennent une certaine quantité d'acide sont sans action sur le protosulfure de fer; mais quand, au contraire, ils contiennent un certain excès de base, une partie de la base se réduit au contact du charbon, comme on l'a déjà expliqué, et décompose une certaine quantité de sulfure, d'autant plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, que la température à laquelle on opère est plus élevée (1). On peut en dire autant du silicate basique de chaux, libre ou combiné avec le silicate basique d'alumine, ce qui arrive généralement dans les scories des hauts fourneaux où l'on emploie de la houille ou du coke comme combustible. Une variété de scorie déjà citée a pour formule :

$$Al^2O^3,SiO^3+2\,(3CaO,SiO^3).$$

L'acide chlorhydrique la décompose, et il se dégage toujours de l'hydrogène sulfuré. Nous avons remarqué en outre, dans plusieurs analyses de ces scories, qu'avant de peser, l'odeur de soufre se répandait en chauffant la silice. Cette action désulfurante du silicate basique de chaux est d'une conséquence importante pour la fabrication de la fonte au coke.

Protosulfure de fer chauffé avec des silicates ou des borates de manganèse. — Les silicates et les borates de manganèse paraissent, selon Berthier, se comporter avec le protosulfure de fer comme les silicates et les borates alcalins. Ce que nous savons à ce sujet est vague et peu satisfaisant; nous sommes réduit, au lieu de faits, à des conjectures. M. Parry, des usines à fer d'Ebbw-Vale, nous a informé qu'il trouvait toujours des quantités considérables de soufre dans les scories de haut fourneau qui contiennent beaucoup de manganèse. Ainsi, dans la scorie produite en fondant le minerai de fer spathique, le manganèse, regardé comme à l'état de protoxyde, atteignait 8 pour 100, et le soufre jusqu'à 2 pour 100; tandis qu'avec le même com-

(1) *Traité des Essais*, t. II, p. 195.

bustible, mais avec d'autres minerais pauvres en manganèse, la scorie contenait moins de soufre, et la fonte, une quantité proportionnellement plus grande que dans le premier cas.

SESQUISULFURE DE FER. Fe^2S^3. — Nous sommes redevables à Berzélius des renseignements suivants sur ce sulfure : En ajoutant goutte à goutte une solution de sulfate de sesquioxyde de fer dans une solution de sulfhydrate, le sesquisulfure se dépose à l'état de précipité noir. Si l'on versait, au contraire, la solution de sulfhydrate dans celle du sulfate, le sesquioxyde de fer se réduirait en protoxyde avec précipitation de soufre. Il se décompose en séchant à l'air. Ce sulfure se forme très-lentement par voie sèche, en faisant passer un courant d'hydrogène sulfuré sur du sesquioxyde de fer chauffé à 100° C. au plus. On continue jusqu'à ce que l'eau cesse de s'échapper; si la température est trop élevée, le fer décompose l'hydrogène sulfuré, et du bisulfure de fer se produit. On peut aussi préparer le sesquisulfure par le même procédé, à la température ordinaire, en substituant au sesquioxyde de fer très-sec, artificiel et hydraté, du sesquioxyde anhydre. Si l'hydrate est humide, la décomposition s'opère très-rapidement et sans élévation sensible de température; mais alors le sulfure se transforme très-vite au contact de l'air en un mélange de sesquioxyde et de soufre, et on ne peut le dessécher que dans le vide. Une fois sec, il n'éprouve pas de changement à l'air. Il est d'un gris tirant sur le jaune; mais il n'est pas aussi jaune ni aussi brillant que les pyrites de fer communes; il est insensible à l'aimant. Au rouge naissant, il abandonne 2/9 de son soufre et se convertit en pyrite magnétique. Il se dissout partiellement dans les acides sulfurique et chlorhydrique dilués, en donnant naissance à de l'hydrogène sulfuré et à un résidu insoluble de bisulfure de fer qui garde la forme des fragments sur lesquels on a opéré, mais qui, à l'état humide, se trouve si finement divisé, qu'il n'offre pas de résistance en l'étendant sur la peau

avec le doigt; cependant par le lavage et la dessiccation il devient solide et cohérent. Le sesquisulfure de fer est une sulfobase; on suppose qu'il existe dans la pyrite de cuivre ($Cu^2S + Fe^2S^3$), et dans les minerais de cuivre panaché ($3Cu^2S + Fe^2S^3$) (1).

Bisulfure de fer ou pyrite martiale. FeS^2.—On le rencontre abondamment dans la nature, et il a acquis ces dernières années une très-grande valeur, comme matière première, dans la fabrication de l'acide sulfurique. Il est dimorphe, et cristallise dans les systèmes cubique et prismatique. Les pyrites cubiques de fer présentent de belles et nombreuses modifications que les minéralogistes prisent beaucoup; elles ont un vif éclat métallique et une belle couleur laiton ou jaune d'or, ce qui les a fait prendre pour de l'or; leur pesanteur spécifique varie de 4.9 à 5.1. La variété prismatique est désignée sous le nom de *pyrite de fer blanche*, à cause de sa couleur blanc grisâtre, ou jaune légèrement grisâtre; sa pesanteur spécifique varie entre 4.65 et 4.9; elle n'est pas aussi répandue que la variété cubique; elle accompagne ordinairement la houille, et, contrairement à la variété cubique, elle est plus sujette à s'effleurir spontanément à l'air. Les deux variétés se trouvent aussi par masses et sous diverses formes d'agrégation, telles que la forme botryoïde, réniforme, etc. Elles sont friables, très-dures, font feu au briquet, et ne sont pas magnétiques. Leurs réactions chimiques étant semblables, nous les désignerons dorénavant sous le nom général de *pyrite de fer*.

On prépare le bisulfure de fer de diverses manières : on chauffe un mélange intime résultant de la trituration du protosulfure de fer obtenu par la voie sèche, avec moitié en poids de soufre, de manière à séparer l'excès de soufre par la distillation et à maintenir la température au-dessous du rouge. Le bisulfure de fer est recueilli à l'état de résidu volumineux,

(1) Berzélius, *Traité*, t. II, p. 682.

pulvérulent, d'un jaune foncé, d'un aspect métallique, insensible à l'aimant et inattaquable par l'acide chlorhydrique ou par l'acide sulfurique étendu, à chaud. On chauffe le sesquioxyde de fer anhydre ou hydraté dans un courant d'hydrogène sulfuré, à une température supérieure à 100° C., mais au-dessous du rouge-cerise. D'abord, il se forme de l'eau et de l'acide sulfureux, et comme ce gaz est décomposé par l'hydrogène sulfuré, l'eau devient laiteuse par la présence du soufre. De là, un sulfure d'un degré inférieur qui se convertit plus tard en bisulfure aux dépens du soufre et de l'hydrogène sulfuré, en laissant dégager une proportion équivalente d'hydrogène. L'opération est terminée quand le produit cesse d'augmenter en poids. Si l'on a recours à des cristaux naturels d'oxyde magnétique, de sesquioxyde de fer anhydre ou hydraté, ou de carbonate de protoxyde fer, ces composés se changent, sans perdre leur forme, en bisulfure de fer et deviennent ainsi des cristaux pseudomorphes (1). M. Wöhler a obtenu du bisulfure de fer en petits cubes et en octaèdres, en exposant un mélange intime de sesquioxyde de fer, de sulfure et de chlorure d'ammonium à une température un peu supérieure à celle à laquelle ce sel est sublimé (2). M. G. Lowe, attaché autrefois à la *chartered* Compagnie du gaz, a relaté un fait intéressant sur la formation artificielle des pyrites de fer en cristaux cubiques et octaédriques. En sublimant à une chaleur rouge sombre très-prolongée, dans des vases en fer revêtus intérieurement d'argile, du sel ammoniac brut contenant du sulfate d'ammoniaque, il trouva des cristaux à l'intérieur sur l'argile imprégnée de chlorure de fer (3). M. Robert Weir Fox, de Falmouth, nous a montré des cubes de pyrite de fer très-beaux et très-réguliers, formés, si nous ne nous trompons pas, de la même manière. Il n'y a pas de doute que les pyrites de fer cristallisées, à l'état naturel, aussi bien que les

(1) Berzélius, *Traité*, t. II, p. 684.
(2) Berzélius, *Jahresb.*, t. XVII, p. 132.
(3) *British Association Reports*, 4e réunion, p. 582; 1835.

pyrites concrètes, ont dû souvent se produire par *voie humide;* tous les cabinets de minéralogie en renferment des exemples nombreux et frappants. On les trouve souvent bien cristallisées dans les nodules de minerai de fer argileux ou dans les carbonates impurs du terrain houiller; et, d'après leur position géologique, elles ne peuvent certainement pas provenir de l'action ignée la plus faible. Il y a, d'ailleurs, des preuves de la formation du bisulfure dans les liquides : ainsi les restes d'une souris tombée accidentellement, et ayant séjourné depuis longtemps, dans une solution de sulfate de protoxyde de fer, s'étaient recouverts de petits cristaux de pyrite de fer; M. Bischof a cité plusieurs exemples récents de production de pyrite dans des circonstances semblables (1). Les solutions aqueuses des sulfates alcalins et terreux contenant un sel de fer se décomposent par l'action des matières organiques en putréfaction ; il se dépose du bisulfure de fer et il se dégage de l'hydrogène sulfuré.

Quand on soumet la pyrite de fer en vase clos à une chaleur rouge, le soufre se sublime, et le résidu, d'après Berzélius, consiste en pyrite magnétique ($6FeS,FeS^2$); mais à une forte chaleur rouge elle se convertit en protosulfure; une température plus basse suffit dans un courant de gaz hydrogène pour produire ce résultat, quoique l'hydrogène sulfuré ne se forme alors qu'en très-petite quantité. Le soufre semble donc s'évaporer moins aisément dans sa propre vapeur que dans les autres gaz (2). Un courant de vapeur d'eau favorise, par la même raison, la mise en liberté de l'acide carbonique dans le carbonate de chaux chauffé en vase clos. On réduit la pyrite en protosulfure, quand on la chauffe jusqu'au rouge en mélange avec le carbone; du bisulfure de carbone se dégage. Les acides azotique et chloronitrique et l'acide sulfurique à chaud le dissolvent avec séparation de soufre; mais l'acide

(1) *Lehrbuch der Chem. u. Phys. Geologie*. t. I, p. 917 et suiv.
(2) H. Rose, *Pogg. Ann.*, t. V, p. 533.

chlorhydrique ou l'acide sulfurique dilué ne l'attaquent pas.

Bisulfure de fer chauffé avec du protoxyde de plomb. — On doit les résultats suivants à Berthier (1). Il avait traité la pyrite de fer native par de la litharge :

	Rapport des mélanges en grammes.					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Pyrite de fer . . .	10	10	10	10	10	10
Litharge.	60	125	200	300	400	500

Ces mélanges se sont très-facilement fondus avec dégagement d'acide sulfureux extrêmement abondant.

N° 1. On retira comme produit un culot métallique sans scories et composé de deux parties : l'une, inférieure, la plus considérable, était du sous-sulfure de plomb; l'autre, semblable pour l'aspect à de la galène, mais magnétique, était essentiellement composée de sulfures de fer et de plomb, et contenait probablement aussi une petite quantité de ces métaux à l'état d'oxyde.

N°s 2 et 3. Scories vitreuses, opaques, noires, tachant les creusets en brun, avec plomb aigre à cassure grenue, d'un gris foncé; dans le numéro 2, le plomb pesait 35 grammes, et 40 dans le numéro 3; ces plombs étaient imprégnés d'une petite quantité de scories et renfermaient de 0.8 à 1.0 pour 100 de soufre, avec une petite quantité de fer.

N°s 4, 5 et 6. Les scories étaient vitreuses, transparentes, d'un beau rouge de résine, et les culots de plomb pesaient respectivement 45.4 gr., 54.8 gr. et 86 grammes.

Une plus forte proportion de litharge ne produisit pas plus de 86 grammes de plomb; ainsi, la désulfuration est complète quand la pyrite de fer est scorifiée avec cinquante fois son poids de litharge.

PYRITE MAGNÉTIQUE. $6FeS,FeS^2$, ou $5FeS,Fe^2S^3$. — Elle est faiblement attirée par l'aimant, et souvent elle est elle-même magnétique : d'où lui vient son nom. Elle cristallise dans le

(1) *Traité*, t. I, p. 399.

système rhomboédrique. Elle est friable, d'un éclat métallique et de couleur bronzée. Sa pesanteur spécifique est de 4.6 ou 4.7. Dissoute dans les acides, elle abandonne un résidu de soufre. Elle est facilement fusible. On la rencontre en assez grande quantité à l'état naturel, quoique rarement cristallisée; elle est souvent imprégnée de nickel. D'après Berzélius, c'est ce composé qui, d'habitude, se produit artificiellement par la voie sèche. Ainsi, on peut le préparer en chauffant ensemble, à l'abri de l'air, un mélange intime de sesquioxyde de fer ou d'oxyde des battitures et de soufre, tant que l'acide sulfureux continue à s'échapper; ou bien, en chauffant du fer jusqu'à ce qu'il commence à jeter des étincelles, et en le touchant avec un canon de soufre; alors le sulfure fondu coule de suite et peut se recueillir.

OXYSULFURE SUPPOSÉ DE FER.—Berzélius a annoncé que, lorsqu'on fond un mélange de sesquioxyde de fer et de soufre dans une cornue en verre, à une température au-dessous du rouge, suffisante néanmoins pour chasser le soufre en excès, l'acide sulfurique se dégage et il reste une poussière d'un brun-marron foncé. Cette poussière est très-attirable à l'aimant; elle s'enflamme quand elle est légèrement chauffée, brûle comme de l'amadou, et se dissout lentement dans les acides, en donnant naissance à un protosel de fer sans qu'il se dégage d'hydrogène sulfuré. Le même composé se forme en chauffant de la pyrite de fer (FeS^2) en poudre grossière, dans des vases imparfaitement clos, de façon à en chasser le soufre; la masse grillée se combine, pendant le refroidissement, avec l'oxygène, et a très-peu de tendance à se dissoudre dans les acides, avec dégagement d'hydrogène sulfuré (1).

SULFATE DE PROTOXYDE DE FER, COUPEROSE, OU VITRIOL VERT. FeO,SO^3. — Ce sel, qu'on fabrique en grand, est sous plusieurs

(1) *Traité*, t. II, p. 689.

rapports très-intéressant pour le métallurgiste. Le sulfate de protoxyde de fer cristallise avec plusieurs proportions d'eau. Le sel du commerce est en cristaux transparents, d'un vert pâle, qui appartiennent au système oblique prismatique ; ils ont pour formule FeO,SO^3+7HO. Il se fond, à une douce chaleur, dans son eau de cristallisation ; au-dessus de 280° C. il perd 6 équivalents d'eau, et devient anhydre à une température plus élevée, en formant, pourvu que l'air soit exclu, une poudre grenue, blanche, qui se dissout très-lentement dans l'eau. Chauffé plus fortement, il se décompose en dégageant de l'acide sulfureux et en donnant naissance à du sulfate de sesquioxyde, ainsi que l'indique l'équation suivante :

$$2(FeO,SO^3)=Fe^2O^3,SO^3+SO^2.$$

A une température encore plus élevée, tout l'acide sulfurique est expulsé de ce sulfate, en partie à l'état d'acide anhydre, et en partie, résolu en acide sulfureux et en oxygène ; il ne reste plus alors que du sesquioxyde de fer. Avant ce résultat final, il se formerait un sulfate basique de sesquioxyde de fer. On obtient l'acide sulfurique de Nordhausen en distillant ce sel dans des cornues en terre, après lui avoir préalablement enlevé environ 40 pour 100 de son eau de cristallisation ; les fumées qui s'échappent sont dues à l'acide sulfurique anhydre qu'il contient. On recueille cet acide dans des touries en poterie contenant de l'eau.

En Bohême, l'appareil distillatoire est construit exactement comme les anciens fourneaux de galère qui servent à la distillation du cinabre (1). Dans plusieurs fonderies d'Europe, la fabrication de l'acide sulfurique s'est faite pendant longtemps par ce procédé. Quand le vitriol vert est chauffé lentement à l'air, en agitant sans cesse, il se convertit en $Fe^2O^3,2SO^3$. En chauffant doucement dans une cornue un mélange du sel

(1) Voir le *Mémoire sur les fabriques d'acide sulfurique de Bohême*, par M. L. Ville. *Ann. des Mines*, 4ᵉ série, t. XII, p. 569 ; 1847.

sec et de charbon de bois, il se dégage de l'acide sulfurique et de l'acide carbonique, dans la proportion de 78 volumes à 22, et le résidu est formé de sesquioxyde de fer exempt de sulfure (1). Le vitriol vert se dissout en 1.64 parties d'eau en poids, à 10° C.; — en 1.43 à 15°; — en 0.87 à 24°; — en 0.66 à 33°; — en 0.44 à 46°; — en 0.38 à 60°; — en 0.37 à 84°; — en 0.27 à 90°; — et en 0.3 à 100° (2). La solution aqueuse est d'un vert pâle et rougit le papier de tournesol; l'acide sulfurique précipite le sel sous la forme d'une poudre cristalline blanche de la formule FeO,SO^3+HO. Le fer métallique se réduit lentement quand on met dans un vase fermé renfermant du zinc ou du calcium une solution aqueuse de ce sel ou de tout autre sel de protoxyde de fer (3).

Dans une expérience de notre laboratoire, le fer réduit apparaissait à la surface d'une lame de zinc sous forme de petites masses rondes; on s'était servi, comme sel, du sulfate neutre de protoxyde de fer. M. Poumarède affirme que le zinc, à une température un peu supérieure, réduit partiellement les sels de protoxyde, en précipitant le fer avec sa couleur habituelle; la pesanteur spécifique est 7.84 (4). Quand on abandonne la solution à l'air libre, une pellicule jaune apparaît à la surface; l'oxygène est absorbé avec formation de sulfate soluble et de bisulfate jaune insoluble de sesquioxyde. Ce dernier, étant en suspension, rend la solution plus ou moins trouble et d'une couleur brun jaunâtre; mais par le repos, le sulfate basique se dépose, et la liqueur surnageant devient parfaitement transparente et d'une couleur rouge brun foncé. L'équation suivante explique la réaction :

$$10(FeO,SO^3)+O^5=2Fe^2O^3,SO+3(Fe^2O^3,3SO^3).$$

Par l'abandon à l'air, à la température ordinaire, les cris-

(1) Gay-Lussac, *Gmelin*, *Handb.*, t. V, p. 238.
(2) Gmelin, *Handb.*, t. V, p. 240.
(3) Fischer, *Das Verhältniss d. chemisch. Verwandschaft zur galvanischen Elektricität.* Berlin, p. 141; 1830.
(4) *L. u. K.*, *Jahresb.*, p. 281; 1847.

taux s'effleurissent; blancs d'abord, ils acquièrent peu après une teinte brun de rouille à la surface, par suite de la formation d'un sulfate basique de sesquioxyde de fer; c'est le cas notamment quand ils se sont déposés dans une solution neutre, car la présence d'un excès d'acide paraît empêcher, ou du moins retarder l'oxydation. Une solution aqueuse de sulfate de protoxyde de fer absorbe l'oxyde nitrique (NO^2), et fournit un liquide épais d'un brun verdâtre, où le gaz et l'acide sulfurique se trouvent dans le rapport de 1 à 4 équivalents. On obtient ce composé remarquable en petits cristaux bruns dont la formule est $4FeO,SO^3+NO^2$. Tout l'oxyde nitrique se dégage dans le vide. On peut aussi le chasser à une forte chaleur, mais alors il éprouve une légère décomposition, et il se produit une proportion équivalente de sesquioxyde de fer. Si la solution saturée d'oxyde nitrique est exposée à l'action desséchante du chlorure de calcium solide, sous une cloche de verre pleine d'oxyde nitrique, il se forme un peu de sesquioxyde de fer aux dépens de l'oxygène de ce gaz.

On prépare facilement du vitriol vert en faisant dissoudre du fer métallique dans l'acide sulfurique dilué, en filtrant la solution bouillante, en évaporant et en faisant cristalliser; il convient que la solution soit acide. Dans quelques usines métallurgiques, on le fabrique en grand, comme produit accessoire, en faisant de l'hydrogène sulfuré au moyen de l'acide sulfurique dilué agissant sur du protosulfure de fer. Il résulte encore ou de l'oxydation spontanée d'un sulfure de fer à l'air humide, ou du grillage d'un sulfure à l'air libre, à une température relativement basse. Il se rencontre quelquefois dans l'eau des anciennes mines de charbon, et l'on doit avoir soin de ne pas employer ces eaux dans les chaudières à vapeur, car elles corrodent le fer avec rapidité (1). On peut reconnaître immédiatement sa présence à sa saveur styptique. On consomme de grandes quantités de ce sel dans le commerce pour la

(1) Riley et autres observateurs.

teinture et pour la fabrication du colcothar. Il contient parfois des impuretés, telles que du manganèse, du zinc, du cuivre, de l'alumine, de la magnésie, de la chaux, etc., et il est souvent mélangé avec plus ou moins de sulfate de sesquioxyde de fer. On peut le séparer de ce dernier sel en faisant passer de l'hydrogène sulfuré dans la solution et en chauffant pour expulser ce gaz, puis en séparant le sulfure formé par la réduction du sesquioxyde, ou bien encore en le faisant bouillir simplement avec du fer métallique. Par l'addition d'une quantité suffisante d'alcool, le vitriol se dépose à l'état de poudre cristalline verdâtre, que l'on fait sécher rapidement après l'avoir lavée à l'alcool et que l'on peut ensuite garder intacte dans un flacon bien bouché; il contient 7 équivalents d'eau, et 20.143 pour 100 de fer. Nous avons continué à nous servir de ce sel ainsi préparé, pour faire les solutions normales avec lesquelles nous essayons les minerais de fer; et nous avons constaté, après plusieurs années, que sa composition n'avait éprouvé aucun changement. On a encore affirmé que le vitriol vert était quelquefois imprégné d'acide arsénieux. L'arsenic et le cuivre sont complétement séparés par le fer métallique, et l'action s'accélère beaucoup par l'ébullition. Le sel du commerce a souvent une couleur verte herbacée, causée par la présence d'un sulfate de sesquioxyde.

Il n'y a pas moins de quatre hydrates, outre la variété commune ou heptahydratée, mais nous nous bornerons à examiner trois de ces variétés. On obtient un sel à un équivalent d'eau en chauffant *dans le vide* du vitriol vert à 140° C. Le deuxième, à trois équivalents d'eau, se forme par l'évaporation à 80° C. d'une solution de vitriol vert contenant un excès considérable d'acide sulfurique, jusqu'à ce qu'il apparaisse une croûte blanche, qui est l'hydrate en question. Le troisième, avec quatre équivalents d'eau, se produit en cristaux d'un vert de chrysoprase, en évaporant à 80° C. une solution de vitriol vert exempt de tout excès d'acide sulfurique.

Les doubles sels des formules $KO,SO^3 + FeO,SO^3 + 6HO$ et $NH^4O,SO^3 + FeO,SO^3 + 6HO$ ont déjà été décrits. Ils résultent de l'évaporation d'une solution aqueuse de vitriol vert, et respectivement, de sulfate de potasse ou d'ammoniaque ; ils sont presque incolores, et ils ont la même forme cristalline que les composés analogues de magnésie, d'oxyde de zinc, et que les protoxydes de manganèse, de nickel et de cobalt.

Les sels des formules FeO,SO^2 (sulfite), FeO,S^2O^5 (hyposulfate ou dithionate), FeO,S^2O^2 (hyposulfite ou dithionite) FeO,S^4O^5 (tetrathionate) ont été également décrits ; les sulfite et dithionite sont formés à équivalents égaux par l'action de l'acide sulfureux dissous dans l'eau sur de la limaille de fer (1).

TERSULFATE NEUTRE, OU SULFATE DE SESQUIOXYDE DE FER. $Fe^2O^3,3SO^3$. — M. Ulrich a décrit le sel anhydre qu'il avait recueilli dans les fabriques d'acide sulfurique d'Oker, du Harz, à l'état de fragments brillants déposés par le repos de l'acide, en vidant l'acide concentré des alambics de platine. Le dépôt consistait en menus cristaux d'une couleur pêche pâle, sous forme d'octaèdres rhomboïdaux tronqués ; les plus grands n'avaient pas plus de $0^m.001$ de diamètre. Le sel, presque insoluble dans l'eau, se dissolvait à peine dans l'acide chlorhydrique. L'ammoniaque le décomposait instantanément, avec séparation de sesquioxyde hydraté de fer ; il se changeait avec le temps, après avoir absorbé l'eau atmosphérique, en une poussière jaune tendre (2). On le rencontre en couches près de Copiapo, dans le Coquimbo, dans des roches feldspathiques et près de Calama, en Bolivie. Il est massif ou cristallisé dans le système rhomboédrique ; sa formule est $Fe^2O^3,3SO^3 + 9HO$. On le prépare en faisant bouillir 2 équivalents de sulfate de protoxyde de fer avec 1 équivalent d'acide sulfurique, et en ajoutant de l'acide azotique en petites quantités, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de

(1) Berzélius, *Traité*, t. III, p. 572.
(2) *Berg. u. hüttenm. Zeit*, t. XVIII, p. 219 ; 1859.

gaz. On le prépare encore directement, en mêlant de l'acide sulfurique concentré et du sesquioxyde de fer et en les agitant bien ensemble; il se développe beaucoup de chaleur, et en élevant davantage la température on chasse l'excès d'acide. Il se dissout dans l'eau et donne une solution rouge qui produit par l'évaporation un résidu déliquescent d'un jaune pâle. A cet état, il contient presque toujours, d'après Berzélius, un excès d'acide provenant, en premier lieu, de la saturation incomplète par l'oxyde de fer. En chauffant doucement le résidu jusque vers le rouge, l'acide libre est chassé, et le sel neutre reste à l'état de poussière blanche qui se dissout très-lentement dans l'eau. La solution rougit le tournesol; elle est couleur orange, et devient par l'évaporation un sirop jaune rougeâtre, qui se dissout dans l'alcool. Une solution aqueuse diluée se trouble par l'ébullition; une solution concentrée ne se trouble pas. Plus elle est étendue d'eau, plus le trouble est considérable et plus basse est la température nécessaire à sa production; du sulfate tribasique se précipite. Le sel neutre est insoluble dans l'acide sulfurique concentré; il se change par l'action de l'hydrogène sulfuré en sulfate de protoxyde, en mettant en liberté de l'acide sulfurique et du soufre qui se dépose. Il se dégage de l'hydrogène quand on fait digérer de la limaille de fer dans une solution saline et neutre et il se forme du sulfate de protoxyde de fer, en même temps qu'il se précipite un sulfate basique de sesquioxyde. Il convient mieux qu'aucun autre sel à la fabrication de l'acide sulfurique anhydre par distillation sèche. Une solution de ce sel à froid ou à chaud dissout la plupart des métaux, surtout quand elle tient de l'acide libre, en leur fournissant de l'oxygène et en se réduisant en sulfate de protoxyde; il se forme, par suite, des sulfates de ces métaux. L'argent et tous les autres métaux qui ont plus d'affinité que lui pour l'oxygène, se dissolvent dans ce liquide (1).

(1) Berzélius, *Traité*, t. III, p. 583.

Une solution de sulfate neutre de sesquioxyde de fer décompose le chlorure de sodium à 60° C., en mettant l'acide chlorhydrique en liberté; d'un mélange de ce sel sec avec du chlorure de sodium, suffisamment chauffé à l'air, il se dégage du chlore et il reste du sulfate de soude et du sesquioxyde de fer.

Les sulfates de sesquioxyde de fer, dont les formules suivent, ont été décrits :

1. $Fe^2O^3,2SO^3$, ou $2(Fe^2O^3,3SO^3)+Fe^2O^3$. Bisulfate de sesquioxyde de fer (Gmelin).

2. $2Fe^2O^3,3SO^3$, ou $Fe^2O^3,3SO^3+Fe^2O^3$. Sesqui-sulfate de sesquioxyde de fer. On assigne cette formule, avec l'addition de 8HO, au minéral du Chili que M. Prideaux a nommé *fibro-ferrite* et analysé le premier (1). Il consiste en fibres délicates, soyeuses, parallèles l'une à l'autre; il est d'une couleur pâle verdâtre; c'est un très-joli minéral.

3. Fe^2O^3,SO^3, ou $Fe^2O^3,3SO^3+2Fe^2O^3$. Monosulfate de sesquioxyde de fer (Gmelin), et sulfate biferrique (Berzélius). Il contient 3 équivalents d'eau. Suivant M. Soubeiran, il se dépose à l'état de poussière d'un rouge jaunâtre clair, en chauffant une solution aqueuse de sulfate neutre de sesquioxyde ($Fe^2O^3,3SO^3$) à laquelle on ajoute du carbonate de potasse, tant que le précipité se redissout.

4. $2Fe^2O^3,SO^3$, ou $Fe^2O^3,3SO^3+5Fe^2O^3$. Sesquioxyde de fer bibasique ou sous-sulfate de sesquioxyde de fer (Gmelin), et sulfate quintiferrique (Berzélius). Selon Berzélius, c'est le dépôt, couleur de rouille, qui se forme lorsqu'une solution aqueuse de vitriol vert a été abandonnée à l'air; mais M. Wittstein affirme que c'est une erreur et que le sel formé par l'action de l'air sur une solution de vitriol vert a la formule $2Fe^2O^3,3SO^3+8HO$ (2). Le vrai sel se dépose sous forme d'une substance rouge, floconneuse et tant soit peu gélatineuse, en précipitant incomplétement par l'ammoniaque une solution de sulfate neutre ou de sesquioxyde. Quand il est hydraté, il contient 6 équivalents d'eau.

5. $3Fe^2O^3,SO^3$, ou $Fe^2O^3,3SO^3+8Fe^2O^3$. Sesquioxyde de fer tribasique ou trisulfate de sesquioxyde de fer (Gmelin) et sulfate octaferrique (Berzélius). Il se dépose en faisant bouillir une solution aqueuse diluée de sulfate de sesquioxyde neutre ($Fe^2O^3,3SO^3$). Il est de couleur rouge et ressemble au sesquioxyde de fer; mais il acquiert en séchant une couleur d'ocre jaune. Sa formule est, d'après M. Scheerer, $2(3Fe^2O^3,SO^3)+9HO$.

6. $4Fe^2O^3,SO^3$, ou $Fe^2O^3,3SO^3+11Fe^2O^3$. Sulfate quadrobasique de sesquioxyde de fer (Gmelin). L'existence de ce sel, admise sur l'autorité d'Anthon, mérite d'être confirmée.

7. $6Fe^2O^3,SO^3$, ou $Fe^2O^3,3SO^3+17Fe^2O^3$. Sulfate sexbasique de sesquioxyde de fer (Gmelin). Ce sel résulte de l'action du temps sur la pyrite de fer dans

(1) *Phil. Mag.*, t. XVIII, p. 397; 1841.
(2) Gmelin, t. V, p. 242.

les schistes alunifères ; on le représente comme étant d'un brun foncé, massif, d'un éclat graisseux, produisant une poussière d'un jaune brunâtre, insoluble dans l'eau, mais lentement soluble dans l'acide chlorhydrique à chaud. M. Scheerer lui assigne la formule suivante : $2(7Fe^2O^3,SO^3)+14HO$ (1).

On remarquera que l'excès des équivalents de base, sur ceux nécessaires pour former $Fe^2O^3,3SO^3$, augmente depuis le n° 3 inclusivement, dans les rapports suivants : 2, 5, 8, 11, 17 ; le rapport exprimé par 14 manque.

Pour les sels des formules indiquées ci-dessous, le lecteur devra consulter Berzélius :

$FeO,SO^3+Fe^2O^3,3SO^3$ se forme lorsque le vitriol vert est exposé à l'air, jusqu'à ce que le sulfate basique ocreux de sesquioxyde de fer cesse de se produire.

$3FeO,SO^3+2(Fe^2O^3,3SO^3)+4HO$. Ce sel fut découvert par M. Abich : il cristallise dans le système cubique. Quoique ce composé n'ait pas de rapport immédiat avec la métallurgie du fer, il offre quelques points intéressants qui nous engagent à décrire son mode de préparation. On dissout dans l'eau 16 parties en poids de cristaux de vitriol vert, de manière à former une solution concentrée ; on la mélange à poids égal avec de l'acide sulfurique concentré et on chauffe jusqu'au point d'ébullition ; on y ajoute 1 partie d'acide azotique ordinaire, et une solution concentrée contenant 5 ou 6 parties d'alun, puis on évapore le tout au bain-marie, à une température qui ne dépasse pas 70° C. Il se dépose pendant l'évaporation une poussière cristalline d'un brun foncé qui, dès que l'eau mère a été bien égouttée, est dissoute dans de l'eau fortement acidulée par de l'acide sulfurique. On fait lentement évaporer cette solution, et des cristaux de couleur foncée se forment en partie au fond, en partie à la surface, puis s'agglomèrent en formant croûte et descendent peu à peu au fond. Ces cristaux appartiennent à un système mixte tenant du cube et de l'octaèdre. Afin de les débarrasser de leur eau, on les lave à l'alcool concentré et on les sèche rapidement. Ils ont une couleur gris foncé approchant du noir : leurs facettes ont presque l'éclat du diamant. On peut les conserver à l'air sec dans un flacon bien bouché. M. Abich assure que ce sel ne se produit qu'à la condition qu'une petite quantité de sesquioxyde de fer soit remplacée par de l'alumine. Si l'évaporation de la solution acide s'opère trop rapidement, le sel se sépare en lamelles cristallines avec une moindre proportion d'eau ; mais, ce qui est singulier, l'addition de sulfate de cuivre dans la proportion de 1/10e du poids du vitriol vert employé, empêche cette séparation, quoiqu'il n'entre pas de cuivre dans les cristaux du sel. M. Barreswill a obtenu ce sel d'un bleu foncé par le procédé suivant : on divise une solution saturée de

(1) Gmelin, *Handb.*, t. V, p 241.

vitriol vert en volumes de 4/7 et 3/7. On fait bouillir la première quantité avec de l'acide sulfurique et de l'acide azotique, de manière à la changer en sulfate de sesquioxyde de fer, et on la mélange ensuite avec les 3/7 restants de la solution primitive. On ajoute à ce mélange de l'acide sulfurique concentré, par petites quantités, et à des intervalles suffisants pour que la température ne s'élève pas sensiblement, jusqu'à ce que tout le sel de fer ait été précipité. Le précipité a presque la couleur du bleu de Prusse; on le prive de toute humidité sur une brique sèche. A cet état, il se dissout dans l'eau pure, en perdant sa couleur bleue (1).

$FeO,SO^3+6(Fe^2O^3,3SO^3)+10HO$.

$Fe^2O^3,3SO^2$. Suivant Berzélius, il se produit par la dissolution du sesquioxyde de fer hydraté dans l'acide sulfureux.

Berzélius a décrit encore un sel curieux de la formule $3FeO,2SO^3+3(Fe^2O^3,2SO^3)+36HO$, rencontré sous la forme de grandes stalactites dans les mines de cuivre de Fahlun. Il est en petits cristaux rouges, transparents, mélangés de sulfate de magnésie; il est soluble dans l'eau.

Il existe aussi divers sels doubles qui offrent beaucoup d'intérêt au point de vue scientifique. Nous nous sommes beaucoup étendu sur les sulfates de fer, parce qu'il est utile de les connaître afin de se rendre compte de certaines branches spéciales de la métallurgie dont nous aurons à nous occuper plus loin.

SULFURES DE FER GRILLÉS A L'AIR.

Les réactions sont les mêmes au fond, quelque soit le sulfure grillé; mais il y a deux sulfures : le protosulfure et le bisulfure, qui méritent d'être examinés séparément.

Protosulfure. — Chauffé au rouge sombre, il s'oxyde rapidement, avec dégagement d'acide sulfureux. La nature du produit grillé varie beaucoup avec la température du grillage. A une température basse, il se forme beaucoup de sulfate de protoxyde de fer qui se résout, à une température plus élevée, en sulfate de sesquioxyde de fer (Fe^2O^3,SO^3) et en

(1) Berzélius, *Traité*, t. III, p. 359; p. 63, 1851.

acide sulfureux; et à un degré encore plus élevé, ce sel perd tout son acide en laissant du sesquioxyde de fer comme produit final : ces réactions ont été précédemment établies. En supposant qu'on augmente graduellement la température, le sulfate basique de sesquioxyde Fe^2O^3,SO^3, dérivé du sulfate de protoxyde, ne perd probablement qu'une portion de son acide et devient plus basique avant sa décomposition complète; mais, autant que nous avons pu nous en assurer, on n'a pas démontré la production de ce sel pendant la dernière partie de l'opération; on l'a néanmoins annoncé comme un fait et on lui a assigné la formule $3Fe^2O^3,SO^3$ (1).

M. Plattner a expliqué comment il concevait la formation du sulfate de protoxyde de fer; selon lui, *l'action de contact* joue un rôle important (2). Nous traiterons en détail de la production de l'acide sulfurique par l'action de contact, à l'occasion du grillage du bisulfure de cuivre. M. Plattner admet que de l'acide sulfurique et du protoxyde de fer se produisent tout d'abord. Plus tard, l'acide se convertit plus ou moins en acide sulfurique par le contact avec le protoxyde de fer et l'oxygène de l'air, et presque tout le protoxyde se transforme en oxyde magnétique. A mesure que l'acide sulfurique se forme, il exerce une action oxydante sur l'oxyde magnétique et le convertit en sesquioxyde, en mettant de l'acide sulfureux en liberté, tandis qu'en même temps la partie de protoxyde restée intacte se combine avec une proportion équivalente d'acide sulfurique pour former du sulfate de protoxyde de fer. Alors suivent les réactions par lesquelles le sulfate de sesquioxyde de fer et finalement le sesquioxyde se produisent. Cette théorie peut être très-ingénieuse, mais nous doutons qu'elle repose sur des expériences suffisamment démonstratives. Il paraîtrait qu'à la température ordinaire, le sulfure de fer se transforme en sulfate de protoxyde, en présence seulement de l'air hu-

(1) *Grulzner, Die Augustin'sche Silber-extraction*, p. 54; 1851.
(2) *Die metall. Röstprozesse*, p. 133.

mide et par l'oxydation directe de ses deux éléments; l'humidité atmosphérique favorise simplement l'oxydation, comme probablement dans le cas de la rouille du fer métallique ; s'il en est ainsi, pourquoi le sulfate de protoxyde de fer ne procéderait-il pas de l'oxydation directe des deux éléments du sulfure dans le grillage ordinaire, la chaleur étant dans ce cas l'agent qui excite et favorise la réaction? En affirmant, avec M. Plattner, le fait, c'est-à-dire la formation distincte et l'existence du protoxyde de fer isolé pendant la première période, nous comprenons difficilement pourquoi l'acide sulfurique ne se produirait pas simultanément, puisque cet oxyde est une base énergique. En admettant, d'autre part, que dans le grillage, l'oxyde magnétique, et non le protoxyde de fer, résulte immédiatement de l'oxydation directe du fer contenu dans le sulfure, on s'explique le dégagement de soufre et de l'acide sulfureux. Dès que l'oxyde magnétique de fer existe, *l'action de contact* de M. Plattner peut jouer son rôle, et le sulfate de protoxyde de fer peut alors se produire. Il n'est pas douteux que l'oxyde magnétique se forme toujours en quantité plus ou moins considérable dans toutes les opérations de grillage pratiquées en petit ou en grand.

Bisulfure de fer. — En grillant ce sulfure, il y a combustion directe d'une partie du soufre avec la flamme bleue pâle caractéristique et avec développement de beaucoup de chaleur. Les réactions semblent, sous d'autres rapports, identiques à celles qui ont lieu pour le protosulfure de fer, sauf que, dans des conditions particulières de température, le bisulfure de fer peut, au commencement de l'opération, se changer plus ou moins complétement en sulfure magnétique.

FER ET AZOTE.

On a récemment attribué à l'azote un rôle très-important dans la métallurgie du fer, et quelques personnes le regardent

comme un élément essentiel de toutes les qualités communes d'acier. Il n'est pas facile de démontrer la présence de l'azote dans le fer, et c'est un problème ardu que de l'y doser quantitativement d'une manière satisfaisante. Aussi, les résultats des différents chimistes qui ont étudié ce sujet, sont-ils loin de s'accorder; par cette raison nous les exposerons en détail. On connaît depuis longtemps l'effet de la calcination des matières azotées, tels que déchets de cuir, corne, ferrocyanure de potassium, etc., sur le fer, dans les procédés de *cémentation*, mais on n'a pu élucider que depuis peu la théorie du procédé, en s'aidant de l'analyse chimique.

Berthollet avait constaté, il y a bien des années, que lorsqu'on chauffe fortement du fer dans un courant de gaz ammoniacal, il devient, comme il le croyait, cassant sans augmenter de poids. Thénard (1) répéta plus tard l'expérience de Berthollet, et il en tira cette conclusion qu'à une température élevée, l'ammoniaque, par son contact avec le fer, se résout en gaz azote et en hydrogène, et que, bien que le métal éprouvât un changement remarquable dans ses propriétés physiques, son poids augmentait peu sensiblement. Savart (2) démontra que le fer ainsi traité augmentait en poids de $\frac{1}{650}$, et que sa densité s'était réduite de 7.78 à 7.66; il attribua cette augmentation à la combinaison de l'ammoniaque, ou de l'un de ses éléments avec le métal. Despretz (3) confirma les résultats de Savart, quant à l'augmentation en poids et à la diminution de la pesanteur spécifique : dans cinq essais, le maximum de l'augmentation avait été de 11.538, et le minimum de 5.046 pour 100 de fer, la moyenne étant 7.798; ils avaient duré de six à huit heures. La calcination avait été opérée à la chaleur rouge, dans des tubes de porcelaine. Le fer était de couleur blanche, cassant et même friable, plus léger et moins

(1) *Traité de Chimie*, t. I, p. 434; 1834.
(2) Despretz, *Ann. de Ch. et de Phys.*, t. XLII, p. 122; 1829.
(3) Ouvrage cité.

sujet à s'altérer à l'air ou dans l'eau que le fer ordinaire. Il était attirable à l'aimant et se dissolvait rapidement dans les acides. Sa pesanteur spécifique descendait quelquefois à 5. On nota plusieurs fois un accroissement considérable de volume, quoique le poids n'eût pas augmenté de plus d'un millième. Lorsque le fer ainsi exposé à l'action de l'ammoniaque, était chauffé au rouge dans un courant d'hydrogène, l'ammoniaque se dégageait. Quand on le traitait par l'acide sulfurique, on trouvait de l'hydrogène en mélange avec l'azote, mais il se produisait moins de gaz qu'avec un poids égal de fer pur, à cause de la formation d'ammoniaque reconnue en quantité notable dans la solution. Despretz remarqua que le résidu charbonneux provenant de l'action dissolvante de l'acide sur le fer traité par l'ammoniaque, différait pour l'aspect de celui du fer ordinaire; cependant la quantité de résidu était presque la même dans chaque cas.

En 1840, M. Schafhaütl publia les résultats de ses propres dosages d'azote dans le fer. Il s'était servi de la méthode Dumas pour la combustion du fer dans le vide, et d'une autre méthode basée sur les mêmes principes que celle de MM. Will et Varrentrapp pour les matières organiques azotées, sauf à recourir, au lieu de chaux sodée, à un mélange de potasse caustique et de baryte caustique (1). Il trouva dans la fonte blanche de Maesteg, pays de Galles (sud), 0.76371 pour 100 d'azote; dans la fonte grise du Creuzot (France), 0.7202 pour 100; dans l'acier fondu anglais, 0.1831 pour 100 (2); et dans le spiegeleisen, 1.20 pour 100 (3).

En 1850, M. Marchand fit connaître les résultats de ses recherches sur la présence de l'azote dans le fer. Appliquant la réaction de Lassaigne, il découvrit de l'azote dans de nombreuses variétés de fonte, et en proportion encore plus grande

(1) *Phil. Mag.*, t. XVI, p. 44; 1840.
(2) Ouvrage cité, p. 517, 521, 585.
(3) *Techn. Encyklopädie*, Prechtl, t. XV, p. 364; 1847.

dans l'acier, mais nulle trace dans le fer malléable. Ce mode d'essai, qui passe pour être très-délicat, consiste à chauffer au rouge dans un tube de verre la matière charbonneuse azotée mélangée avec du potassium ou du sodium. Un cyanure du métal se forme ; on le dissout dans l'eau, et l'on ajoute à la solution un mélange de protochlorure et de sesquichlorure de fer, puis un peu d'acide chlorhydrique ; alors le bleu de Prusse se précipite. Le fer sur lequel M. Marchand expérimenta avait été réduit en poussière fine. En présence du fer, il se forme du ferrocyanure de potassium.

Un mélange de charbon et de fer pur, quelque intime qu'il soit (celui qu'on obtient par exemple en chauffant du succinate ou du benzoate de sesquioxyde de fer), ne donne pas de traces de cyanogène par l'épreuve Lassaigne. En opérant sur le résidu de l'oxalate du protoxyde de fer, M. Marchand obtint une seule fois de très-faibles traces de bleu de Prusse.

Lorsqu'on chauffe de la fonte avec un excès de potassium, on empêche complétement la formation du cyanogène ; et le même résultat se produit si l'on chauffe au rouge le mélange, à l'air libre ; car le potassium se transforme trop rapidement en potasse.

Quand le fer, résidu d'une première expérience, fut essayé une seconde fois, après avoir été bien lavé et séché rapidement, il se forma encore du bleu de Prusse, et comme cette substance continuait à se produire en opérant constamment sur le *même* échantillon de fer, M. Marchand fut porté à croire que l'azote pouvait bien dériver de l'air atmosphérique plutôt que du fer. Il répéta donc ses essais par la même méthode, mais dans une atmosphère d'hydrogène et d'acide carbonique ; il trouva alors que les nombreux échantillons de fonte, qui avaient fourni du bleu de Prusse en assez grande quantité, en donnaient bien moins, et que cinq ou six jours après seulement, il apparaissait au fond des vases des indices très-faibles et souvent très-douteux d'un précipité bleu. Quoiqu'il modifiât ses essais

d'après la variété de fer ou d'acier, la proportion de potassium et le degré de chaleur, il constata toujours les mêmes résultats négatifs.

Pour prouver que l'hydrogène ou l'acide carbonique n'empêchent pas la formation du cyanogène, M. Marchand fit chauffer du charbon animal avec du potassium dans chacun de ces gaz, et il reconnut que le cyanogène se formait abondamment.

M. Marchand s'assura ensuite qu'en appliquant l'épreuve Lassaigne à la fonte de fer, dans une atmosphère d'azote, ce gaz était sensiblement absorbé. Il pensa alors qu'il convenait de répéter les expériences de Schafhaütl, et il soumit du fer à l'ancienne méthode d'analyse des composés organiques azotés, c'est-à-dire, en les chauffant en mélange avec du protoxyde de cuivre; l'azote se dégage à l'état libre et peut être recueilli et mesuré. Toutes les précautions paraissent avoir été prises pour atteindre des résultats exacts. 10 grammes furent traités à la fois : ils contenaient 0,0189 pour 100 d'azote. M. Marchand arriva au même chiffre dans plusieurs combustions de fonte et d'acier avec du protoxyde de cuivre. Voici les teneurs obtenues par le procédé à la chaux sodée qu'il mania avec tout le soin possible :

Numéros.	NATURE DU FER.	LOCALITÉS.	AZOTE POUR 100.
1	Fonte de fer grise.	Rottleberode.	0.009
2	Fonte de fer, autre échantillon.	Rottleberode.	0.005
3	Acier de lime.	Angleterre.	0.014

120 grammes d'acier, provenant de la même lime (n° 3), furent dissous dans de l'acide chlorhydrique à chaud ; le résidu, pesant 0^{gr}.287 et consistant notamment en silicates terreux mêlés à du charbon, contenait 0^{gr}.00047 d'azote.

Dans six autres expériences sur des fontes anglaises, suédoises et de Magdesprung, M. Marchand vérifia exactement

les mêmes teneurs. Le montant *possible* d'azote n'excéda jamais 0.015 pour 100.

Il fut démontré que la présence du fer n'affectait en rien l'exactitude du procédé à la chaux sodée, en chauffant de la fonte à l'état de poussière fine, en mélange avec un poids déterminé d'acide urique ; on retira la totalité de l'azote que contenait ce dernier.

M. Marchand conclut de ses recherches qu'on ne peut pas admettre avec une certitude absolue la présence de l'azote dans la fonte de fer ni dans l'acier ; que très-probablement l'azote n'atteint jamais 0.02 pour 100, mais qu'il y est généralement en bien moins forte proportion ; que l'azote présent provient évidemment des matières étrangères incorporées, qu'on ne doit pas plus considérer comme les éléments essentiels du fer que la scorie ; enfin qu'en chauffant à l'air libre au rouge, avec un mélange de potassium, du fer contenant du carbone, l'azote est absorbé en donnant naissance à du cyanogène.

Trois variétés différentes de graphite artificiel furent soumises à l'épreuve Lassaigne, sans que l'on pût découvrir la moindre trace de cyanogène.

En 1852, M. Buff publia les résultats de quelques expériences qu'il avait faites sur du fer azoté dans le laboratoire de M. Liebig(1). Il avait constaté qu'en chauffant un fil de fer au rouge dans un courant de gaz ammoniac, il devenait cassant, cristallin, blanc, et qu'il augmentait de 6 pour 100 en poids ; sa pesanteur spécifique se réduisait par ce traitement de 7.416 à 7.145 ; en le brûlant avec de la chaux sodée, il se formait de l'ammoniaque. En chauffant du sesquichlorure de fer au rouge dans du gaz ammoniac, il obtint des lamelles de fer métallique résistant, qui contenait 0.043 pour 100 d'azote ; le fer, préparé en réduisant le sesquioxyde dans un courant de gaz am-

(1) *Ann. d. Pharm. u. Chem.*, 9e série, t. VIII, p. 376.

moniac, renfermait 0.079 pour 100 d'azote. Selon M. Buff, du fer contenant 1.8 pour 100 de carbone, chauffé au rouge dans un courant de gaz ammoniac, perdait sa couleur noire foncée pour devenir gris blanc et renfermait 1.159 pour 100 d'azote; le fer qui lui servit pour cet essai avait été obtenu en réduisant du sesquioxyde de fer dans un courant d'oxyde de carbone. Il avait trouvé 0.26 pour 100 d'azote dans une variété de fonte fournie par des minerais de marais.

M. Frémy a confirmé l'exactitude des résultats de Despretz relativement à l'action de l'ammoniaque sur le fer, à la chaleur rouge; il a montré que l'azote, et non un composé amidogène, se combine avec le fer, car, en chauffant le fer azoté au rouge dans un tube et dans un courant d'oxygène, tout le métal se convertit en sesquioxyde de fer pur; l'azote se dégage sans qu'il apparaisse la moindre trace d'eau dans le tube destiné à la fixer (1).

M. Frémy a encore étudié l'action sur le fer du gaz azote pur et sec, et il a trouvé que tandis « qu'il ne se combine que « très-difficilement avec le fer préparé par les procédés ordi- « naires de l'industrie, il peut s'unir avec le métal, quand ce « dernier est à l'état naissant. » Il a obtenu de la sorte du fer azoté en faisant arriver de l'azote sur de l'oxyde de fer, au moment de sa réduction soit par l'hydrogène, soit par le charbon.

Afin d'azoter presque complétement par de l'ammoniaque des petits fragments de fil de fer, M. Frémy jugea souvent nécessaire de faire passer pendant trois jours entiers le courant de gaz sur le métal chauffé au rouge. Il fut ainsi conduit à chercher une méthode plus rapide, et il dit avoir entièrement atteint ce but en soumettant au rouge vif du protochlorure de fer anhydre à l'action d'un courant de gaz ammoniac sec. Il ajoute que le chlorure d'ammonium se dégage et qu'il se forme « un sel amidé fort curieux qui décompose immédiatement l'eau en produisant de l'ammoniaque et de l'oxyde de fer. » Il

(1) *Comptes rendus*, t. LII, p. 322; 1861.

traite, d'après cette méthode, dans un tube de porcelaine, 200 grammes environ à la fois de protochlorure de fer. Ce mode de préparation avait été décrit bien longtemps auparavant par M. Buff (1). Après l'opération, le produit métallique se présente à l'état de masse boursouflée, partiellement fondue; il est quelquefois gris, et souvent aussi métallique, blanc et brillant; il est identique au fer azoté obtenu par la méthode Despretz; il se réduit facilement en poudre; il est moins oxydable que le fer pur; l'acide azotique l'attaque très-lentement, mais les acides sulfurique et chlorhydrique l'attaquent au contraire avec rapidité; des sels de fer et d'ammoniaque se produisent quand il est dissous dans les acides; il ne se décompose pas au rouge, et l'oxygène le transforme seulement à une température élevée en sesquioxyde de fer; il se décompose immédiatement quand il est soumis à une douce chaleur dans un courant de gaz hydrogène, en donnant de l'ammoniaque et en laissant un résidu de fer pur; il s'aimante facilement, et ainsi que l'acier, il retient d'une manière permanente sa propriété magnétique, mais cette propriété paraît moins développée que dans l'acier ordinaire. Lorsqu'on chauffe du fer azoté dans une brasque de charbon de bois, il se convertit en une masse métallique qui ressemble à de l'acier, et acquiert comme lui une grande dureté par la trempe. M. Frémy remarque que s'il existe encore de l'azote dans le métal ainsi traité, il n'y est plus au même état que dans le fer azoté, car, lorsqu'on chauffe dans un courant d'hydrogène le produit cémenté, il ne dégage pas d'ammoniaque.

Suivant M. Frémy, la proportion d'azote dans le fer azoté peut être facilement déterminée par la perte que le métal éprouve quand on le chauffe au rouge dans l'hydrogène sec; c'est ainsi qu'il a dosé dans le composé produit au moyen du protochlorure de fer 9.3 pour 100 d'azote, ce qui correspon-

(1) *Ann. der Chem. u. Pharm.*, t. LXXXIII, p. 375; 1852.

drait à la formule Fe^8N; mais cette formule peut être incorrecte, car, ainsi que M. Frémy le fait remarquer, il n'est pas certain que le composé ainsi obtenu soit dans un état de pureté absolue : la température à laquelle il se forme et l'atmosphère d'hydrogène qui l'environne pendant sa formation, peuvent faire varier sa composition.

M. Frémy a trouvé 9.8 pour 100 d'azote dans un échantillon de fer azoté, qu'il avait préparé en chauffant au rouge un petit cylindre de fer très-pur, dans un courant de gaz ammoniac, pendant vingt heures.

M. Frémy ayant examiné des aciers anglais, français et allemands de « marques » bien connues, et jouissant d'une grande réputation dans le commerce, a découvert de l'azote dans tous, comme le prouvait le dégagement d'ammoniaque en faisant passer de l'hydrogène sec sur de la limaille fine chauffée au rouge dans un tube de porcelaine (*).

(*) Dans un mémoire lu à l'Académie des sciences de Berlin, le 18 décembre 1862, le professeur Rammelsberg a démontré, à l'appui des expériences de M. Grüner, qu'il était impossible de dire si des quantités d'azote, en général aussi faibles que celles décelées dans les diverses espèces de fer par les essais de M. Frémy, pouvaient exercer une influence quelconque sur les propriétés du métal. A cet effet, il a essayé, au point de vue de sa teneur en azote, la fonte miroitante (*spiegeleisen*) obtenue par le traitement du fer spathique et qui sert à préparer l'acier brut d'Allemagne. Après avoir fait dissoudre plusieurs livres de cette fonte dans l'acide sulfurique étendu, le savant chimiste a recherché l'azote, tant dans la dissolution que dans le résidu charbonneux ; il a séparé autant que possible par cristallisation le sulfate de fer et a soumis l'eau mère à la distillation en présence d'hydrate de potasse. Il a obtenu réellement une petite quantité d'ammoniaque qui a été dosée par le sel de platine. L'azote ainsi dosé s'élevait seulement à 0.002 pour 100, soit à $\frac{1}{50000}$ du poids du fer, et toute vraisemblance s'oppose à ce que l'on considère cette faible quantité comme faisant essentiellement partie de la fonte examinée.

« Mais, d'après M. Frémy, le résidu est azoté. Or, le résidu provenant de la fonte miroitante, chauffé avec de la potasse, ou avec de la chaux sodée, n'a pas donné naissance à de l'ammoniaque ; il ne contenait, il est vrai, aucune trace de titane. Le résidu charbonneux provenant de la dissolution de la fonte à l'aide d'un courant électrique, d'après la méthode de Weyl, a fourni également un résultat négatif quant à l'azote. Mais, si l'on abandonne ces résidus

Il y a plusieurs années, M. Dick a étudié, dans le laboratoire métallurgique de l'Ecole des mines de Londres, l'action de l'ammoniaque sur le fer à une température élevée. Il se servit de tubes de porcelaine contenant du fil de fer mince sous forme de spirales. La spirale augmenta de 16^{gr}.46 à 16^{gr}.54 en poids, dans une expérience qui dura seulement une heure un quart. Il opéra en même temps sur un fragment de fil de fer droit et plus épais, qui augmenta en poids de 19^{gr}.56 à 19.60; sa surface était blanche et altérée à la surface seulement; en le pliant, la partie altérée s'écaillait : les lamelles étaient sensibles à l'aimant. La spirale était blanche, d'une friabilité remarquable et à cassure très-brillante. Un fragment de cette spirale fut dissous dans l'acide chlorhydrique, après avoir eu soin d'en exclure l'air; l'ammoniaque se dégagea nettement de la solution, par l'addition d'un excès de potasse. Une expérience comparative fut répétée avec du fil de fer non altéré, de la même variété que la spirale, mais sans qu'on découvrît aucune trace d'ammoniaque.

M. Bouis, d'après les instructions du général Morin, a re-

pendant quelques jours au contact de l'air, et qu'on les traite ensuite par la lessive de potasse, ils dégagent de l'ammoniaque, qu'ils ont évidemment enlevée aux gaz de l'atmosphère. »

Le professeur Rammelsberg, se fondant sur la propriété qu'ont les corps poreux, le charbon, les oxydes de fer naturel et artificiel, etc., d'absorber l'ammoniaque contenue dans l'air, a arrosé avec de l'eau de la fonte miroitante pulvérisée et l'a chauffée avec de l'hydrate de potasse, sans obtenir trace d'ammoniaque. Il en obtenait, au contraire, avec les mêmes corps, en quantités notables, après avoir abandonné le fer humide au contact de l'air pendant quelques jours.

« Si, d'après ce qui précède, on ne peut déceler la présence de l'azote comme élément essentiel dans la fonte, propre plus que toute autre à la fabrication de l'acier, et si, d'autre part, on fait attention à la facilité avec laquelle l'ammoniaque de l'air est absorbée par le fer et par d'autres corps, on ne peut vraiment pas conclure que les idées de M. Frémy soient de nature à exercer de l'influence sur la métallurgie du fer, ni à modifier la théorie de la cémentation. »

Cette argumentation est restée jusqu'ici sans réplique. (*Revue des sciences*, par Grandeau et Laugel, 1863.) (*Note des Traducteurs.*)

cherché l'azote dans le fer malléable, l'acier et la fonte, et dans chacun des cas il a constaté sa présence (1). Il a eu recours au procédé qui consiste à faire passer de l'hydrogène sec sur le métal chauffé au rouge. Le gaz desséché parcourait une colonne de pierre ponce chauffée au rouge, et une série d'éprouvettes remplies de chlorure de calcium fondu. Dans toutes ces expériences, on disposa deux tubes de porcelaine dans le même fourneau, et l'on fit traverser chacun par des courants du même gaz sec. Chacun d'eux se terminait par un tube Will, contenant de l'acide sulfurique très-dilué, mais titré exactement. Le métal qu'on devait expérimenter était placé dans un des tubes, tandis que l'autre, restant vide, servait de témoin. M. Bouis rapporte que du moment où le fer ou l'acier sont chauffés dans l'hydrogène, il a vu apparaître des vapeurs blanches qui traversaient les solutions acides sans se condenser; d'une forte odeur de matière organique brûlée, différente de celle de la corne, ces vapeurs ne duraient que peu de minutes. L'hydrogène n'enlève rapidement l'azote qu'à la surface du métal; car des barreaux d'acier ayant subi pendant toute une journée l'action de l'hydrogène et limés de nouveau, ont produit autant d'azote à l'état d'ammoniaque qu'à la première opération. M. Bouis en conclut qu'on ne peut doser la totalité de l'azote par ce procédé, qu'à la condition d'opérer sur du métal à l'état extrêmement divisé, ou de faire durer l'opération très-longtemps (2). Voici les résultats des expériences de Bouis :

Nature du métal.	Azote pour cent.	Remarques.
Acier Krupp (spirale d'acier).	0.085	Hydrogène non purifié et mal desséché.
Id. id.	0.011	Très-mince, lavé à l'éther avant l'opération.
Acier fondu en lames.	0.059	Lames présentant une surface de 380 centimètres carrés.

(1) *Comptes rendus*, t. LII, p. 1195; 1861.
(1) *Comptes rendus*, t. LII, p. 1249; 1861.

Nature du métal.	Azote pour cent.	Remarques.
Lames d'acier fondu.	0.037	Beaucoup de boursouflures.
Lames précédentes limées de nouveau.	0.031	
Acier fondu Jackson.	0.058	En copeaux très-fins obtenus à la machine à raboter.
Acier Wootz	0.12	En copeaux très-fins et très-minces.
Fer doux en lames.	0.18	Surface de 200 centimètres carrés.
Fil à cardes.	0.14	350 mètres de longueur.
Fonte blanche en petits fragments . .	0.15	Très-dure et manganésifère.
Id. grise en fragments.	0.00	

M. Bouis ajoute qu'il a trouvé de très-petites quantités d'azote dans les résidus des aciers Jackson, Krupp, et du *wootz metal*, traités par les acides ou l'iode.

M. Boussingault a évalué par deux méthodes l'azote de plusieurs variétés de fer. Dans la première, le dosage s'opère par volume, exactement comme pour les dosages du gaz azote des composés organiques. On met le métal en fil ou en copeaux, au milieu d'un tube à combustion, garni de clinquant, dont une extrémité communique avec un générateur de gaz acide carbonique, tandis que l'autre se relie à un tube engagé dans une cuve à mercure. Le métal est mélangé avec du cinabre qui s'étend au-delà dans le tube, vers le générateur d'acide carbonique. L'air atmosphérique étant complétement expulsé du tube à combustion par un courant d'acide carbonique, on arrête le dégagement afin d'engager le tube sous un flacon renversé contenant une solution de potasse caustique. On chauffe alors le métal sur lequel on fait passer graduellement, et en vapeur, tout le cinabre dont l'excès va se condenser dans la partie froide du tube. L'opération terminée, on laisse refroidir bien au-dessous du rouge et l'on fait passer un courant soutenu d'acide carbonique sec, qui se rend dans le flacon en entraînant le gaz azote.

M. Boussingault a trouvé ainsi que le fer azoté préparé par la méthode Despretz contenait 2.66 pour 100 d'azote; un échantillon d'acier fondu en renfermait 0.057 pour 100; du fil de fer doux, 0.124 pour 100; et un autre échantillon de fil identique, 0.068 pour 100.

Dans la deuxième méthode, M. Boussingault dose l'azote à l'état d'ammoniaque (1). Le fer est dissous à l'abri de l'air dans l'acide chlorhydrique ou dans l'acide sulfurique dilué, et la solution est portée à l'ébullition, avec excès de potasse ou de chaux, dans un grand matras qui se relie à un appareil de condensation. On dose l'ammoniaque, dans le produit distillé, par portions successives de 50 centimètres cubes. Il est important que la potasse soit absolument privée d'azotate ou d'azotite; sans cela, il y aurait production d'ammoniaque par l'action du protoxyde de fer qui se dépose. On préfère la chaux, à cause de la difficulté de se procurer de la potasse exempte de ces impuretés. L'ammoniaque qui passe dans le produit distillé est dosée à l'aide d'une solution titrée d'acide sulfurique. Il semblerait que par ce procédé tout l'azote se dégage dans certains cas à l'état d'ammoniaque.

Voici quelques-uns des résultats des essais de M. Boussingault :

		Azote pour cent.
Fer azoté d'après la méthode Despretz;	par la voie humide.	2.655
— — —	par la méthode du cinabre.	2.660
Acier fondu.	— voie humide.	0.042
— — —	— méthode du cinabre.	0.057
Fer pur préparé par M. Péligot.	— voie humide.	néant.
Fil de fer doux.	— —	0.0075
Corde de piano (corde de Berlin). . .	— —	0.0070
— —	— —	0.0086
Acier Krupp.	— —	0.022

D'après tous les essais que nous venons de rapporter, nous pouvons conclure : 1° que l'azote se combine avec le fer; 2° qu'on a constaté sa présence dans le fer malléable, la fonte et l'acier;

(1) *Comptes rendus*, t. LII, p. 1249, et t. LIII, p. 77; 1861.

3° que sa présence dans le fer, en proportion notable, modifie d'une façon remarquable certaines propriétés physiques du métal (*).

Azotate de protoxyde de fer. FeO,NO^5. — On le prépare en dissolvant le sulfure de fer à froid dans de l'acide azotique dilué; vers la fin de l'opération, on chauffe doucement la liqueur afin de saturer complétement l'acide; de l'hydrogène sulfuré se dégage, de sorte que le fer s'oxyde aux dépens de l'eau. On a ainsi une solution d'un bleu verdâtre, qui, évaporée dans le vide, produit des cristaux d'un vert pâle, très-solubles dans l'eau. La solution se décompose facilement

(*) Dans une note lue à l'Académie des sciences, le 18 juillet 1864, M. Margueritte a démontré que le fer se carbure et se convertit en fonte quand on le chauffe au contact du charbon et se transforme ainsi en acier sans l'intervention de l'azote. Guyton Morveau avait, le premier, tenté de prouver que l'aciération peut se faire par simple contact, en calcinant un diamant dans un creuset de fer placé dans un creuset de Hesse; après une heure environ d'un feu de forge violent, le creuset de fer fut complétement converti en un culot d'acier fondu. Mais le creuset de fer, pendant tout le temps de la calcination, étant resté exposé à l'action carburante des gaz du foyer, il importait de répéter cette expérience, de telle sorte que la combinaison possible du diamant avec le fer ne fût compliquée d'aucune action étrangère. C'est dans ces conditions que M. Margueritte a expérimenté; 1° avec du carbone pur (diamant); 2° au sein d'une atmosphère d'hydrogène chimiquement pur; 3° dans des vases absolument imperméables aux gaz du foyer.

L'hydrogène, préparé avec du zinc distillé et de l'acide sulfurique, avait été purifié et desséché avec le plus grand soin par les moyens indiqués par MM. Dumas et Sainte-Claire Deville, puis dirigé dans un tube en porcelaine doublement vernissée dont l'imperméabilité a été démontrée. Dans le tube chauffé à une température capable de déterminer la fusion de la fonte, était une petite nacelle de porcelaine sur les bords de laquelle reposait une lame très-mince de fer, préalablement débarrassé de son soufre et de son azote dans un courant d'hydrogène.

Un diamant, qui avait été légèrement rougi, fut placé sur la lame de fer; puis on fit passer à froid le courant d'hydrogène pendant plusieurs heures, pour purger l'appareil d'air, c'est-à-dire d'oxygène et d'azote. La température ayant été élevée rapidement et maintenue au rouge vif pendant quelque temps, le tube fut retiré du fourneau et refroidi en restant en communication avec le courant d'hydrogène. Le diamant avait traversé la lame de fer et donné en tombant un

par la chaleur, en présence d'un excès d'acide ; mais une solution de sel neutre se décompose seulement à 100° C. environ ; l'oxyde nitrique (NO^2) se dégage, et il se dépose en abondance du sous-azotate de sesquioxyde (1). Si du fer métallique est substitué au sulfure de fer, il se produit de l'ammoniaque.

L'action de l'acide azotique sur le fer varie beaucoup avec sa densité (2). Le métal se dissout dans l'acide pesant 1.034, sans dégager aucun gaz ; il se forme de l'azotate de protoxyde de fer et de l'azotate d'ammoniaque, ainsi qu'il ressort de l'équation suivante :

$$10NO^5 + 8Fe + 3HO = 8(FeO,NO^5) + NH^3,NO^5.$$

L'acide azotique pesant 1.073 dissout lentement le fer, mais sans dégagement sensible de gaz ; et la solution contient de l'azotate de sesquioxyde, aussi bien que du protoxyde de fer et de l'azotate d'ammoniaque. L'acide à 1.115 de densité ne produit, en dissolvant le fer, que de l'azotate de sesquioxyde, sans ammoniaque, de sorte que cet alcali n'apparaît que lorsque de l'azotate de protoxyde de fer est formé. Du sesquioxyde de fer

petit globule de fonte. Deux autres opérations avec plusieurs diamants, une lame de fer doux et une lame de fer plus épaisse, ont fourni les mêmes résultats.

Enfin, dans une quatrième expérience pour produire de l'acier, on a fait passer le courant d'hydrogène sur un fil de fer de 1 1/2 millimètre de diamètre, dont la moitié était noyée dans de la poudre grossière de diamant préalablement bouillie dans l'acide azotique pour la purifier, et renfermée dans une nacelle de platine. La partie du fil plongeant dans la poussière de diamant a été cémentée ; l'autre partie ne l'a pas été et est restée insensible à la trempe. On a opéré de même sur de la plombagine et du charbon de sucre longtemps calcinés au sein d'un courant d'hydrogène. Dans tous les cas, l'extrémité du même fil a été convertie en acier très-dur et d'un grain très-fin, tandis que la partie qui ne se trouvait pas en contact immédiat avec le charbon ne présentait pas la moindre apparence d'aciération.

Que devient, dans ces circonstances, le radical azoto-carburé de M. Frémy ? (*Comptes rendus*, t. LIX, juillet 1864.) (*Note des Traducteurs.*)

(1) Berzélius, *Traité*, t. III, p. 573.

(2) Un mémoire intéressant intitulé : *Recherches sur les azotates de fer*, a été publié par M. Scheurer-Kestner, et nous y avons puisé presque tous nos renseignements sur les azotates de sesquixoyde. *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LV, p. 330, 342 ; 1859.

résulte toujours exclusivement de l'action de l'acide d'une densité plus élevée que 1.115; mais la nature de cet azotate varie dans certaines conditions spéciales. Ainsi, en laissant agir l'acide pendant quelque temps sur le métal, il se produit plus ou moins de sels basiques qui deviennent gélatineux dans le liquide et se dissolvent par digestion dans l'eau à 40° C. en vingt-quatre heures. Pour empêcher la formation des sels basiques qui rendent la préparation du sel neutre difficile, on devra retirer le fer de l'acide, dès que la réaction commencera d'elle-même à se ralentir.

Azotate de sesquioxyde de fer. $Fe^2O^3,3NO^5$. — On obtient par l'action de l'acide azotique pesant 1.332, sur une quantité suffisante de fer, une solution pesant 1.580, qui, en se refroidissant, dépose un sel en prismes rectangulaires déliés, d'une couleur brune causée par l'interposition de l'eau mère. Ces cristaux, séchés entre du papier buvard, sont presque incolores. Les proportions indiquées pour obtenir les plus beaux cristaux sont 4 équivalents d'acide azotique pesant 1.332, et 2 équiv. de fer. L'équation suivante explique la réaction :

$$4NO^5+2Fe=Fe^2O^3,3NO^5+NO^2.$$

L'attaque est très-énergique et la solution s'effectue en une demi-heure environ. En employant 3 kilogrammes d'acide du degré indiqué et 0k.350 de fer, conformément à l'équation, l'azotate est légèrement basique, parce qu'il s'évapore de l'acide par la chaleur développée dans l'opération. Mais si l'on emploie 25 parties en poids d'acide et 3 1/2 de fer, la solution neutre cristallise facilement. Les cristaux sont très-déliquescents et se dissolvent en toutes proportions dans l'eau et dans l'alcool, en formant des solutions brunes qui se décolorent par l'addition d'acide azotique; desséchés dans un courant d'hydrogène, ils ont la formule suivante :

$$Fe^2O^3,3NO^5+18HO.$$

La dissolution des cristaux produit un abaissement considérable de température; ce sel est très-facilement décomposé par la chaleur. A 50° C. des vapeurs d'acide azotique se dégagent, et tout l'acide se trouve chassé au-dessous du rouge, tandis que le sesquioxyde pur reste. L'azotate renfermé dans un tube de verre hermétiquement clos n'éprouve pas de changement à 100° C., ni au soleil (1). En faisant bouillir une solution aqueuse du sel, il se précipite un sel basique insoluble. Tous les azotates de sesquioxyde de fer, solubles ou insolubles, sont complétement décomposés par l'ébullition dans l'eau avec du carbonate de chaux.

On peut préparer de l'azotate de la formule $Fe^2O^3,2NO^5$ (sesquibasique) en dissolvant la proportion voulue de sesquioxyde hydraté de fer dans une solution du sel que l'on vient de décrire, ou de sel neutre. La solution devient épaisse et sirupeuse par l'évaporation entre 30° C. et 40° C., et se convertit ensuite en une masse amorphe d'un noir brillant. Il se dissout en toutes proportions dans l'eau, mais il est insoluble dans l'acide azotique qui le précipite de ses solutions aqueuses à l'état de dépôt ocreux. L'acide azotique le convertit, par un contact prolongé, en sel neutre.

De l'azotate de la formule Fe^2O^3,NO^5 (tribasique) se prépare exactement de la même manière que ce dernier, auquel du reste il ressemble beaucoup sous tous les rapports.

En faisant bouillir les solutions des trois azotates de sesquioxyde décrits, il se dépose respectivement les trois sels basiques suivants :

1. $2Fe^2O^3,NO^5+HO$, ou $Fe^2O^3,NO^5+Fe^2O^3,HO$.
2. $3Fe^2O^3,NO^5+2HO$, ou $Fe^2O^3,NO^5+2(Fe^2O^3,HO)$.
3. $4Fe^2O^3,NO^5+3HO$, ou $Fe^2O^3,NO^5+3(Fe^2O^3HO)$.

(1) Scheurer-Kestner, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LVII, p. 231; 1859. Voir aussi un mémoire du même auteur, intitulé : *Nouvelles recherches sur l'azotate ferrique*, ouvrage cité, 3e série, t. LXV, p. 110; 1862.

MM. Wildenstein (1) et Hausmann (2) ont obtenu des cristaux auxquels ils ont assigné la formule $Fe^2O^3,3NO^5+12HO$. Le premier chimiste a annoncé qu'ils étaient cubiques, mais le dernier a vérifié qu'ils étaient prismatiques; et ceci s'accorderait avec l'assertion de M. Scheurer-Kestner, ainsi qu'avec une remarque de Vauquelin (3), qui, après avoir laissé de l'acide azotique en contact avec de l'oxyde de fer pendant plusieurs mois, recueillit des cristaux incolores ayant la forme de prismes rectangulaires. Les cubes de M. Wildenstein étaient aussi limpides que de l'eau et s'étaient déposés très-lentement dans une solution préparée en saturant par du fer de l'acide azotique faiblement dilué, et en l'évaporant jusqu'à une densité de 1.5 environ.

M. Scheurer-Kestner a conservé pendant longtemps, à 100° C., dans des tubes de verre hermétiquement clos, des azotates de fer sesquibasique et tribasique. Après quelques heures, la couleur de ces deux sels s'était notablement modifiée, en passant du rouge brun au rouge-brique. La solution paraissait limpide à la lumière directe, mais trouble à la lumière réfléchie. En ouvrant les tubes, on ne sentait aucune odeur d'acide azotique. Ces sels basiques avaient pourtant acquis de nouvelles propriétés. Une goutte d'acide sulfurique ou chlorhydrique, ou bien d'une solution de sulfate de potasse ou de soude occasionnait un précipité. Après avoir soumis l'azotate tribasique à 100° C. pendant 72 heures, de la manière indiquée, le liquide séparé du précipité contenait de l'azotate neutre ($Fe^2O^3,3NO^5$). Il n'y eut pas d'autre changement, en prolongeant l'expérience pendant 144 heures. Il n'y a donc que ces deux sels basiques qui soient susceptibles de se décomposer dans les conditions indiquées. Le précipité par le sulfate de soude, séché d'abord sur de la porcelaine non vernissée, puis dans un courant d'air sec,

(1) *L. u. K. Jahresb.*, p. 306 ; 1861.
(2) *L. u. K. Jahresb.*, p. 371; 1863.
(3) Berzélius, *Traité*, t. III, p. 592.

avait la forme de petites plaques noires, insolubles dans les acides concentrés, mais très-solubles dans l'eau pure, et reproduisant une solution claire à la lumière réfléchie et trouble à la lumière directe. Cette solution n'offrait plus les réactions caractéristiques des sels de fer quand on y ajoutait des ferrocyanures ou des sulfocyanures, mais elle donnait des précipités avec les acides et le sulfate de soude. L'oxyde précipité avait pour formule Fe^2O^3,HO, et celui qu'on avait obtenu après avoir chauffé pendant 144 heures, avait la même composition. Les azotates basiques sont donc réduits par la chaleur en azotates neutres et en sesquioxyde hydraté. Ces sels basiques s'altèrent quand on les expose longtemps aux rayons du soleil; les liqueurs séparées précipitent par l'acide sulfurique ou par le sulfate de soude; mais à l'obscurité ils n'éprouvent aucun changement.

Nous ne terminerons pas la description des azotates de fer sans ajouter quelques observations sur la passivité du fer. C'est un fait très-curieux et très-intéressant qu'il sera possible un jour d'appliquer utilement : plusieurs observateurs l'ont étudié, mais beaucoup de phénomènes restent encore inexpliqués. Le fer se dissout très-rapidement dans l'acide azotique à 1.384; mais lorsque la liqueur approche de la saturation, le métal devient brillant; on le désigne alors sous le nom de *passif*, c'est-à-dire qu'il n'est plus attaqué. On peut le retirer et le mettre dans de l'acide d'une pesanteur spécifique inférieure, sans qu'il se dégage du gaz. En l'immergeant dans l'acide, en contact avec un autre morceau de fer, il s'attaque instantanément; si on l'ôte alors et qu'on le place dans la solution d'azotate de sesquioxyde, il devient de nouveau passif après peu d'instants. M. Scheurer-Kestner a constaté que la passivité du fer ne dépendait pas du degré de saturation de l'acide. M. Schönbein affirme que le fer rendu passif par de l'acide azotique fumant, reste passif après avoir été exposé à l'air plusieurs heures, ou même des jours entiers; et M. Buff assure qu'il perd sa passi-

vité lorsqu'on enlève tout l'acide par lavage. Du fil de fer qui est passif dans de l'acide azotique froid pesant 1.5, donne du gaz un peu au-dessous de 80° C. (1).

FER ET PHOSPHORE.

Ces éléments ne se combinent pas à la température ordinaire; mais lorsque du phosphore se trouve en contact avec du fer chauffé au rouge, la combinaison a lieu avec une incandescence des plus vives.

PHOSPHURE DE FER DE LA FORMULE $Fe^{12}P$.— Le produit obtenu directement a pour formule $Fe^{12}P$; il est très-fusible et très-fluide quand il est fondu; il ne traverse pas les creusets d'argile. Nous en avons préparé plusieurs kilogrammes à la fois, en laissant tomber des morceaux de phosphore sur de petites lames de tôle mince, sur du fil de fer ou sur de la limaille de fer chauffés au rouge dans un creuset, en ayant soin d'interdire aussi complétement que possible l'accès de l'air. Néanmoins ce procédé est peu économique, car il s'échappe une grande proportion de phosphore, malgré tous les soins apportés à la manipulation. Nous n'avons pas réussi à introduire ainsi dans le fer plus de 8 pour 100 environ de phosphore. Dans un échantillon produit en grand nous avons trouvé 8.23 pour 100 de phosphore; un autre échantillon préparé récemment avec du fil de fer, à notre laboratoire, par M. Hochstätter, en contenait 8.28 pour 100. Une portion de ce dernier fut reprise de nouveau de la même manière par du phosphore; mais la quantité totale de phosphore incorporé atteignit seulement 8.405 pour 100. Il est possible que ce produit se compose seulement de fer tenant en solution ou en suspension un phosphure avec plus de phosphore pour cent, tel que Fe^4P. Le fait de sa présence en

(1) Gmelin, *Handb.*, t. I, p. 355-362; tous les faits publiés sur ce sujet, avant 1848, sont résumés ici.

cristaux distincts n'est pas une preuve certaine du contraire, car le professeur Josiah Cooke a démontré que des alliages d'antimoine et de zinc, de compositions très-variables, avaient la même forme cristalline.

Un échantillon provenant de la combinaison directe et abandonné au refroidissement dans le creuset avait les caractères suivants : la surface supérieure ou plane était très-cristalline et présentait des prismes longs, grêles et entrelacés; on distinguait aussi des cristaux sur les côtés. En cassant le culot, on trouva vers le centre, qui était caverneux, de magnifiques cristaux prismatiques, brillants et irisés. Ces cristaux, comme ceux des côtés, avaient presque tous une teinte bleuâtre, analogue à celle des ressorts de montre (1). La cassure était très-inégale et confusément cristalline; fraîchement produite, elle était d'un blanc grisâtre, mais elle devenait bientôt terne et d'une nuance bigarrée où le gris rougeâtre dominait. Ce phosphure se réduit facilement en poussière; il est très-dur, et se laisse à peine rayer par le feldspath, mais non par l'apatite. La pesanteur spécifique d'un des morceaux était 7.245. Il est très-attirable à l'aimant. Sa composition peut se représenter par la formule $Fe^{12}P$. Il n'est soluble qu'en partie dans l'acide chlorhydrique, à froid ou à chaud, avec dégagement d'hydrogène et dépôt d'une poudre noire insoluble. Ce résidu est à l'état très-divisé; il se dépose très-lentement et passe promptement à travers le filtre. En diluant la liqueur acide concentrée à chaud, qui contient le résidu en suspen-

(1) Nous avons soumis quelques-uns de ces cristaux au professeur Miller, de Cambridge, qui a bien voulu nous communiquer les résultats suivants de l'examen qu'il en a fait : « Ils appartiennent au système pyramidal et présentent des clivages, sans aucun doute, parallèles aux faces de la forme I, O, O (de son système). Les cristaux sont des prismes carrés, à faces unies, très-brillantes, sans indice de faces terminales d'aucune espèce. Ces prismes sont, la plupart, attachés aux deux extrémités à la masse cristalline du phosphure. Lorsqu'ils sont cassés, les morceaux offrent à l'extrémité un très-mauvais clivage interrompu par une cassure conchoïde. La surface est jaune d'or et la surface de cassure d'un blanc approchant celui du fer-blanc. Un des prismes détachés avait deux faces naturelles d'une couleur jaune d'or; les deux autres étaient de couleur fer-blanc. J'en ai conclu que ces faces étaient obtenues par clivage. Les rayons réfléchis n'étaient pas aussi nets que ceux des faces naturelles, mais bien préférables à ceux de l'extrémité du clivage. »



sion, on sent nettement l'odeur de l'hydrogène phosphoré; mais en étendant la même liqueur à froid, on ne peut découvrir l'odeur de ce gaz. Après repos et lavage complet à l'alcool, le résidu devient d'un brun sombre à l'état sec. Chauffé au chalumeau, il émet une lumière bleuâtre, exhale l'odeur du phosphore et forme des globules fondus de fer phosphoré. Le phosphure se décompose complétement par digestion dans l'acide sulfurique à chaud; de l'acide sulfureux se développe et un dépôt blanc, micacé, de sulfate de sesquioxyde de fer se précipite. Il se dissout, seulement en partie, dans de l'acide sulfurique dilué, en donnant naissance au même résidu que par l'acide chlorhydrique. Le phosphure se dissout lentement, mais complétement, par digestion, soit dans l'acide azotique concentré, soit dans l'acide chloronitrique. Il se dissout encore grâce à la chaleur, dans de l'acide azotique étendu. Le phosphure n'est pas attaqué par une solution aqueuse de potasse, à chaud ni à froid. Fondu à une chaleur rouge avec trois fois son poids de carbonate de soude, on obtient un produit noir, magnétique, qui répand l'odeur d'hydrogène phosphoré, si l'on y ajoute de l'acide chlorhydrique. L'action pendant huit jours, d'une solution de chlorure de cuivre sur le phosphure, le cuivre se précipitant à l'état métallique par l'acide azotique dilué, produit une poudre cristalline contenant 85.06 pour 100 de fer; ce qui correspond à peu près à la formule Fe^6P.

Phosphure de fer de la formule Fe^6P. — On le prépare en chauffant le phosphure de la formule Fe^2P.

Phosphure de fer de la formule Fe^4P. — D'après Berzélius, on obtient ce phosphure en réduisant, à une température élevée (dans un feu de forge), du phosphate de protoxyde de fer ($2FeO,PO^5$) mélangé avec un quart de son poids de charbon de bois en poudre. Il faut avoir soin que le phosphate soit en

excès, sans cela le charbon chasserait une partie du phosphore et il se ferait de la fonte (1); moitié du phosphore est volatilisée. M. Struve a préparé ce phosphure en chauffant fortement pendant une heure et quart dans un fourneau à vent, du phosphate de sesquioxyde de fer mélangé, dans un creuset brasqué, avec du charbon de sucre. Berthier assure que ce phosphure se forme en chauffant fortement (à 150° du pyromètre de Wedgwood) dans un creuset brasqué, une partie de sesquioxyde de fer, avec deux ou trois parties d'un mélange composé de 0.50 de phosphate de chaux, 0.25 de quartz, et 0.25 de borax fondu (2). Il est plus blanc que l'acier, éclatant, à grains cristallins, très-dur et fragile, susceptible de recevoir un très-beau poli, non magnétique (ou, d'après Struve, seulement très-peu magnétique), beaucoup plus fusible que la fonte, mais un peu moins que le cuivre. Sa pesanteur spécifique serait 6.7. Il est inattaquable par l'acide chlorhydrique, et par l'acide sulfurique dilué; suivant Berzélius, il se dissout difficilement dans l'acide azotique concentré et dans l'eau régale. M. Hochstätter a étudié ce phosphure dans notre laboratoire. Il le prépara d'après le procédé de Berzélius, en substituant cependant du phosphate de sesquioxyde au phosphate de protoxyde de fer. Les assertions de Berzélius ont été reconnues exactes dans les moindres détails; mais les résultats de M. Struve en diffèrent sous quelques rapports : ainsi, M. Struve affirme qu'il se dissout assez vite dans l'eau régale, et qu'il est tout à fait soluble dans l'acide chlorhydrique, après une longue ébullition; la moitié du phosphore passerait alors dans la solution à l'état d'acide phosphorique; mais il ne dit rien de l'autre moitié. Par le grillage, ce phosphure se convertit en phosphate basique de sesquioxyde de fer. On ajoute, sur la même autorité, que ce phosphure se forme toujours

(1) Berzélius, t. II, p. 690.
(2) *Traité*, t. II, p. 201.

quand du phosphure de fer, contenant plus de phosphore que lui, est soumis à une forte chaleur. Il se fond facilement au chalumeau et retient très-longtemps son phosphore, même dans la flamme oxydante (1). Le phosphure de la formule Fe^4P s'obtient (2) en projetant des petits morceaux de phosphore sur de la limaille de fer au rouge blanc. Tout ce que nous pouvons dire, c'est que nous n'avons pas encore réussi à vérifier ce fait, quoique nous ayons prodigué le phosphore dans l'expérience, et que les mêmes résultats négatifs ont été constatés à plusieurs années d'intervalle.

Biphosphure de fer. Fe^2P.—Selon M. Schrötter, le fer, à l'état pulvérulent, tel qu'on l'obtient en réduisant du sesquioxyde par l'hydrogène, se convertit avec incandescence en phosphure de cette formule, quand on l'expose à la vapeur de phosphore au rouge à peine naissant (3). Il est de couleur grise, légèrement fritté, non magnétique, inattaquable par les acides chlorhydrique et azotique (?), et brûle lorsqu'on le chauffe avec la flamme du phosphore. M. Struve annonce qu'à la chaleur il se dissout lentement dans les acides chlorhydrique et azotique, et que les 3/5 du phosphore passent dans la solution à l'état d'acide phosphorique ; mais l'iode n'agit pas (4). Chauffé sous du borax, au degré de fusion de la fonte, il dégage du phosphore en laissant du fer d'un gris foncé, bien liquéfié, très-fragile, non magnétique, d'une cassure à grain fin, d'une densité égale à 6.28, ne se laissant attaquer ni par l'acide chlorhydrique, ni par l'acide azotique, et dont la composition peut se représenter par la formule Fe^6P (5).

Phosphure de fer de la formule Fe^2P^3 (?). — M. Struve an-

(1) Berzélius, *Traité*, p. 691.
(2) Gmelin, *Handbook.*, t. V, p. 222.
(3) *L. u. K. Jahresb.*, p. 246; 1849.
(4) *L. u. K. Jahresb.*, p. 77; 1860.
(5) Hvoslef, *L. u. K. Jahresb.*, p. 284; 1856.

nonce que ce composé se produit quand on expose du phosphate de sesquioxyde de fer au rouge blanc, dans un courant d'hydrogène. C'est une masse non liquéfiée, d'un gris pâle, d'un éclat métallique, insensible à l'aimant, qui n'éprouve pas de changement à l'air; il est promptement attaqué par les acides azotique et chloronitrique, surtout la chaleur aidant; tout le phosphore se convertit alors en acide phosphorique; il est dissous très-lentement par l'acide chlorhydrique; la moitié du phosphore se transforme en acide phosphorique et l'autre moitié en hydrogène phosphoré qui s'échappe (1).

Phosphure de fer de la formule Fe^5P^2. — On trouvera dans la deuxième partie de cet ouvrage la description d'un phosphure de fer pulvérulent de la formule Fe^5P^2. Il est dû à l'action de l'acide azotique dilué, sur du cuivre contenant du phosphore et du fer; mais cette observation a besoin d'être confirmée.

Phosphure de fer de la formule Fe^3P^2.—D'après M. H. Rose, on peut facilement le préparer en faisant passer de l'hydrogène phosphoré sur de la pyrite de fer (FeS^2) chauffée à un degré assez peu élevé pour ne pas la décomposer. L'hydrogène sulfuré se dégage et il reste du phosphure pulvérulent, noir, insoluble dans l'acide chlorhydrique, mais soluble dans l'acide azotique et l'eau régale. L'équation suivante explique la réaction :

$$3FeS^2 + 2PH^3 = Fe^3P^2 + 6HS.$$

Il donne une flamme phosphorescente au chalumeau (2).

Voici la liste des phosphures de fer que nous avons décrits :

1. $Fe^{12}P$.	3. Fe^4P.	5. Fe^8P^3.	7. Fe^3P^2.
2. Fe^6P.	4. Fe^2P.	5. Fe^5P^2.	

Du phosphore, même en petite quantité, a une action très-

(1) *L. u. K. Jahresb.*; p. 76; 1860.

(2) Berzélius, *Jahresb.*, t. XIII, p. 88; *Traité*, t. II, p. 691.

marquée sur la malléabilité et la résistance du fer aux températures ordinaires, car il le rend *rouverain*, c'est-à-dire cassant à froid. Quoiqu'il puisse se trouver assez de phosphore dans le fer pour le rendre très-rouverain, il peut cependant ne pas affecter la malléabilité du métal aux températures élevées, telles que celles du forgeage ou du laminage. Il n'y a pas dans la métallurgie du fer de fait qui soit mieux établi que celui-ci, et il n'y en a certainement pas un dont l'exactitude ait été aussi généralement reconnue. Karsten était d'opinion que tant que le phosphore n'excède pas 0.5 pour 100, il n'y a pas lieu de craindre pour la qualité du fer, et que, jusqu'à 0.3 pour 100, le phosphore rend le fer plus dur sans diminuer notablement sa ténacité : du fer, ne contenant pas plus de 0.3 de phosphore, peut très-bien passer pour être de la meilleure qualité. Nous devons encore les observations suivantes au même métallurgiste : Du fer, renfermant 0.6 pour 100 de phosphore, ne supporte pas l'épreuve de rupture, mais il peut se ployer à angle droit et se marteler assez bien sur l'enclume; avec 0,66 pour 100, il ne manifeste pas dans ces essais les propriétés caractéristiques du fer rouverain proprement dit. Dès que la proportion de phosphore atteint 0.75 pour 100, sa ténacité diminue très-notablement et le fer ne se prête plus aux épreuves ordinaires dont il vient d'être question. Avec 0.8 pour 100 de phosphore, le fer est regardé comme décidément rouverain, et avec 1 pour 100, une barre ne peut plus se plier à angles droits. D'après Karsten, tout fer renfermant plus de 1 pour 100 de phosphore est très-cassant et sans grandes applications (1). M. Hochstätter a préparé un culot de fer contenant 1 pour 100 de phosphore, en fondant du fil de fer fin coupé en petits morceaux avec assez de phosphure de fer pour y incorporer cette quantité de phosphore. Sous le marteau, il s'aplatissait un peu, puis se criquait en travers. Sa cassure était très-cristal-

(1) *Handb. d Eisenhüttenkunde*; Berlin, t. I, p. 420, sect. CLXXXVIII; 1841.

line et présentait des plans très-brillants de clivage, semblables à ceux de l'antimoine. Il était plus dur et à cassure plus blanche qu'un culot de fer fondu sans phosphore.

Il y a quelques points intéressants qui se rattachent à la découverte du phosphore dans le fer. En 1781, Meyer publia les résultats de ses recherches sur une « terre blanche » dont il avait décélé la présence dans de la fonte provenant des « minerais de marais. » Il trouva que la solution de ce fer dans l'acide sulfurique étendu abandonnait un précipité blanc, qui était la terre en question. En le chauffant séparément dans un creuset fait d'un solide morceau de charbon, il obtint un « très-beau culot » caverneux à l'intérieur et tapissé de cristaux métalliques prismatiques. Le métal était très-cassant, facilement pulvérisable, très-fusible et insensible à l'aimant. Il le soumit à de nombreuses épreuves, le fondit avec deux fois son poids de plomb et obtint un culot très-rugueux qu'on pouvait marteler un peu et couper; sa cassure était grenue; il donnait au chalumeau une scorie semi-vitreuse et une perle métallique attirable à l'aimant. Meyer en conclut que c'était un métal ou plutôt un *semi-métal* et qu'il était cause de la grande fusibilité de la fonte des minerais de marais (1). Il publia une deuxième série d'essais sur ce soi-disant nouveau métal et il proposa de l'appeler *wassereisen* ou *hydrosiderum* (2). Il avait résumé ses caractères qui ne laissent pas douter que c'était du phosphure de fer. Sa pesanteur spécifique était 6.710. Il se dissolvait très-lentement dans les trois acides minéraux, mais très-rapidement (?) dans l'huile de vitriol, et ce dernier composé, de même que l'acide chlorhydrique, le faisait cristalliser. En 1784, Meyer annonçait que le métal nouveau n'était que du fer contenant de l'acide phosphorique; en publiant cette nouvelle, il avoue que « l'erreur en

(1) *Schriften der Berlinischen Gesellschaft naturforschender Freunde.* Berlin, t. II, p. 334; 1781.

(2) *Schriften der Berlinischen*, etc., t. III, p. 380; 1782.

chimie est, hélas! trop facile, » et il termine en témoignant sa satisfaction que Bergmann ait commis la même erreur que lui (1). Il existe, dans la collection des ouvrages de cet éminent chimiste suédois, qui parut en 1783, un chapitre sur les causes des propriétés rouveraines du fer; on y trouve le renseignement suivant : Une « terre blanche » se dépose lentement dans la solution filtrée de la fonte des minerais de marais dissoute dans l'huile de vitriol. Cette terre, chauffée avec du charbon de bois, donne un métal (ou plutôt un semi-métal, *régule*, comme on l'appelait alors) d'une densité égale à 6.700; il était blanc, terne, à cassure grenue, sans indices de fibre, très-fragile, facile à fondre et difficilement attaqué par les acides. Il le considérait comme un nouveau métal et lui donna le nom de *siderum*. Il est singulier que les chimistes allemands et suédois aient, à la même époque, formulé la même opinion sur la cause qui rend le fer rouverain, et qu'ils aient appliqué le même nom de *siderum* à ce prétendu nouveau métal.

En 1785, après la mort de Bergmann, son illustre compatriote Scheele, publia sur ce sujet un excellent mémoire qui pourra toujours être consulté avec fruit, de même que les autres travaux de ce profond chimiste (2). Il prouva de la manière la plus évidente que le *siderum* n'était que du phosphure de fer. Il importe de remarquer qu'il précipita l'acide phosphorique à l'état de phosphate de mercure par de l'azotate de mercure, de sorte que dans l'application de ce dernier sel à l'analyse des phosphates il devança M. Rose, qui proposait, il y a quelques années seulement, une méthode de dosage de l'acide phosphorique fondée sur la précipitation du phosphate de mercure par l'azotate de ce métal.

En 1806, Vauquelin communiqua à l'Institut de France un mémoire analytique précieux sur certains minerais de fer qui se rencontrent en France et sur les produits résultant de leur fu-

(1) Crell, *Chem. Ann.*, 3e partie, p. 196; 1784.
(2) Crell, *Chem. ann.*, 11e partie, p. 387; 1785.

sion. Il concluait à la présence du phosphore dans la fonte (1).

De l'action du soufre sur le fer qui contient du phosphore. — M. Hochstätter a répété l'expérience de la même manière que les précédentes (p. 56), en substituant le soufre au sulfure de fer :

1. Fer phosphoré ($Fe^{12}P$)	12gr.95
Soufre non pesé, mais en grand excès.	

Il retira un culot bien fondu, à surface brillante, couvert d'une couche mince de sulfure de fer; il pesait, sans la couche supérieure, 12gr.50 : il était très-dur, blanc d'argent et d'une cassure à grain fin; sa poussière était très-fortement attirée par l'aimant. Il en pulvérisa une partie et la fit digérer à chaud avec de l'acide chlorhydrique concentré; l'hydrogène sulfuré se dégageant, il resta un résidu noir insoluble qu'il fit dissoudre facilement, après y avoir ajouté de l'acide azotique concentré. Sa composition était de :

Fer	89.54
Phosphore	8.45
Soufre	2.19
	100.18

De la fusion du fer contenant du soufre avec du fer renfermant du phosphore. — M. Hochstätter a fait les expériences suivantes :

	Grammes.	Rapport des équivalents.
1. Fer phosphoré ($Fe^{12}P$)	11.92	1
Sulfure de fer (contenant 39.4 pour 100 de soufre).	17.94	12

On les réduisit en poussière très-fine, que l'on tritura bien ensemble. Le mélange fut placé dans un creuset d'argile couvert et luté, enfermé lui-même dans un autre creuset couvert et luté; l'espace intermédiaire était rempli de poudre d'argile calcinée. On soumit le tout pendant une heure environ

(1) *Journ. des Mines*, t. XX, p. 381; 1806.

à une bonne chaleur rouge. Un culot bien fondu fut trouvé au fond du creuset ; il pesait 66g.78 ; il était dur, fragile, à cassure blanc d'argent, et très-magnétique. Ce culot était recouvert d'une couche qui, sous tous les rapports, ressemblait à du sulfure de fer parfaitement intact ; aucune trace de phosphore ne fut accusée par le molybdate d'ammoniaque. On réduisit en poudre une partie de ce culot et on la fit digérer pendant plusieurs heures avec de l'acide chlorhydrique concentré ; l'hydrogène se dégageant, il restait un résidu noir identique à celui produit par l'action du même acide sur le phosphure de fer de la formule $Fe^{12}P$. Ce résidu fut dissous complétement dans l'acide chloronitrique, à l'exception d'une petite quantité de matières siliceuses. Le culot se composait de :

Fer	87.83
Phosphore	10.75
Soufre	1.25
	99.83

	Grammes.	Rapport des équivalents.
2. Fer phosphoré (Fe^4P)	18.52	1
Sulfure de fer (contenant 39.4 pour 100 de soufre.	35.75	4

On fit cet essai exactement comme le précédent. On trouva au fond du creuset un culot dont la surface supérieure était arrondie et unie. Il était très-fragile ; la cassure était d'un gris foncé métallique et à grains grossiers ; la poussière était à peine attirée par l'aimant. Ce culot était recouvert d'une couche ressemblant à du sulfure non altéré et pesant environ 19g.43. On traita une portion de la poudre de ce culot par de l'acide chlorhydrique faible à chaud, et après un dégagement d'hydrogène sulfuré, il resta un résidu noir. La poudre fine se dissolvait lentement, mais complétement, dans l'acide chloronitrique, sauf une proportion minime de matières siliceuses. La partie supérieure de la couche ne contenait pas de

phosphore, tandis que la partie inférieure en renfermait une quantité notable. La composition du culot était la suivante :

Fer	75.75
Phosphore	19.19
Soufre	4.92
	99.86

On peut donc le regarder comme contenant 83.39 pour 100 de Fe^4P et 16.47 pour 100 de Fe^4S^3 ou $Fe^2S + 2FeS$. On extrait tout le sulfure de fer par l'attaque à l'acide chlorhydrique étendu.

Il paraîtrait que, dans la première de ces expériences, une portion du fer avait été transférée du fer phosphoré au sulfure extérieur, avec augmentation proportionnelle de phosphore dans le culot.

Une portion de chacun des culots de ces essais fut fondue avec deux fois son poids de limaille de fer, on en retira dans les deux cas des culots homogènes.

3. Fer phosphoré (Fe^4P)	19gr.43
Soufre en grand excès.	

Le culot était bien fondu, recouvert d'une couche mince de sulfure de fer, pesant ensemble 20gr.015. Il était très-dur, fragile, à cassure blanc d'argent; sa poussière était légèrement magnétique. Il contenait 4.52 pour 100 de soufre, ce qui correspond à peu près à la quantité trouvée dans le culot décrit précédemment.

De l'action du fluorure de calcium sur le fer contenant du phosphore. — M. Hochstätter a fait les expériences suivantes :

Il a fait chauffer fortement, pendant une heure, dans un creuset d'argile, un mélange intime de fer phosphoré (Fe^4P) et de fluorure de calcium. Le culot était bien fondu et ressemblait en tous points au fer phosphoré primitif. Le creuset était très-corrodé et perforé dans un endroit. L'essai fut ré-

pété dans un creuset brasqué, et le culot apparut sous une couche bien fondue de fluorure. Ce culot était exactement identique et pesait, à un centigramme près, comme le fer phosphoré employé.

De l'action du carbone sur le fer contenant du phosphore. — L'essai suivant est dû à M. Hochstätter :

Un creuset brasqué contenant 6gr.48 de fer phosphoré à l'état de poudre fine et recouvert de charbon de bois fut soumis à une chaleur blanche, pendant environ une heure et demie. Le culot était bien fondu, et pesait 5gr.76 ; sa cassure était à grain fin et de la blancheur de l'argent ; sa poussière était magnétique. Par l'acide chlorhydrique faible, à chaud, de l'hydrogène se dégage avec la même odeur que celle due à l'attaque par le même acide, du fer contenant du carbone. La solution de fer qui en résulte est exempte de phosphore. A l'analyse, le culot donna 18.1 pour 100 de phosphore, soit une perte de 5 pour 100 environ, le fer phosphoré primitif en contenait 23.23 pour 100.

PHOSPHATE DE PROTOXYDE DE FER. $2FeO.PO^5$ (1). — Il se forme, en traitant par du fer une solution aqueuse d'acide phosphorique légèrement concentrée ; de l'hydrogène se dégage. Ce sel se dissout d'abord dans la liqueur acide ; mais, à mesure que cette dernière s'en sature, il se dépose à l'état de masse amorphe blanche ou gris blanchâtre. D'après M. Debray, quand on fait bouillir de l'acide phosphorique avec du fer métallique, des petits cristaux aciculaires parfaitement incolores se déposent au bout d'un certain temps et bleuissent un peu à l'air. Le même sel s'obtient en faisant bouillir une solution de sulfate de protoxyde de fer avec du phosphate de magnésie préparé à froid.

Il a pour formule $2FeO,PO^5,3HO$, ou $(2FeO,HO),PO^5+2HO$.

(1) Nous avons profité librement de la description de Berzélius. *Traité*, t. III, p. 574.

Quand on chauffe ce sel dans de l'eau jusqu'à 250° C., on a un sel de la formule $3FeO,PO^5+HO$; il est d'un vert foncé et apparaît en petits grains cristallins (1). En ajoutant à une solution de sulfate de protoxyde de fer du phosphate de soude ordinaire, $2NaO,HO+PO^5$, il se fait un précipité blanc avec une légère teinte bleue, qui se dissout de nouveau en l'agitant, et continue à se dissoudre, jusqu'à ce qu'on y ait ajouté la quantité voulue du précipitant. Si la liqueur est filtrée avant que tout le protoxyde de fer soit précipité, le sel neutre hydraté reste sur le filtre à l'état de masse blanche, qui devient rapidement d'un gris bleuâtre en séjournant à l'air. Le liquide, filtré au contact de l'air, devient d'un blanc nuageux qui part de la surface et s'étend jusqu'au fond, tant qu'il reste du phosphate de protoxyde en solution. En proportion plus grande, il a une tendance à se colorer en gris bleuâtre, mais il devient presque blanc par le lavage et la dessiccation. Selon Berzélius, il se compose de phosphate neutre de protoxyde combiné avec un sous-sel; il est insoluble et a pour formule $2FeO,PO^5+2\ (Fe^2O^3,2PO^5)$. Il est décomposé par la potasse caustique qui en sépare d'abord du sesquioxyde de fer brun, et puis de l'oxyde magnétique noir. Le phosphate de protoxyde de fer se dissout faiblement, à la pression ordinaire de l'atmosphère, dans l'eau saturée d'acide carbonique. M. F. Phillips a déterminé dans notre laboratoire son degré de solubilité : dans un premier essai, il trouva qu'une pinte impériale ($0^{lit}.568$) dissolvait 4.76 grains ($0^{gr}.308$) du sel, et dans un second, qu'elle en dissolvait 4.72 ($0^{gr}.305$), ce qui correspond à 0.54 partie en poids pour 1 000 de la solution. D'après M. Pierre, l'eau saturée d'acide carbonique dissout presque 1000 parties en poids de ce phosphate (2). Toutes les précautions avaient été prises pendant les essais pour exclure l'air, par un courant d'acide carbonique. En chauffant très-doucement

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LXI, p. 437; 1861.
(2) *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XXXVI, p. 70; 1852.

la solution pour en expulser l'acide carbonique, le sel se précipite à l'état grenu. On abandonna, pendant deux ou trois semaines, un flacon contenant une solution saturée du sel dans de l'eau imprégnée d'acide carbonique, avec une grande quantité de sel non dissous. On enleva et on lava soigneusement le dépôt, qui consistait en phosphate amorphe mélangé de phosphate cristallin. Les cristaux étaient d'un blanc bleuâtre, petits, mais bien nets et visibles très-distinctement à la loupe; ils devinrent, en dernier lieu, d'un bleu grisâtre foncé.

En chauffant 3 parties en poids de phosphate de protoxyde de fer avec 4 parties de limaille de fer, on eut un culot renfermant 2.38 pour 100 de phosphore. Il ressemblait au fer contenant 1 pour 100 de phosphore, que nous avons déjà décrit. C'est à M. Hochstätter que l'on doit ce résultat.

Phosphate tribasique de protoxyde de fer. $3FeO,PO^5$. — D'après Berzélius, on le prépare en versant goutte à goutte dans une solution d'un sel de protoxyde de fer une solution de phosphate de soude de la formule $3NaO,PO^5$. D'abord, il apparaît à l'état de précipité blanc caséeux, qui, après avoir reposé pendant quelque temps, devient semi-transparent et gélatineux. Recueilli sur un filtre, il absorbe de l'oxygène et tourne immédiatement au bleu ou au vert.

En versant goutte à goutte une solution de sulfate de protoxyde de fer dans une solution de phosphate de soude cristallisé, on forme un précipité qui, selon Berzélius, aurait la formule $2FeO,PO^5+2\,(3FeO,PO^5)$. M. Debray a préparé ce sel en chauffant, jusqu'à 250° C., le phosphate précédent, ayant la formule $2FeO,PO^5+3HO$. Il est d'un vert foncé et consiste en petits grains cristallins (1). On a trouvé dans la Delaware (Etats-Unis) du phosphate tribasique cristallisé, incolore, de la formule $3FeO,PO^5+8HO$. Le minéral bleu appelé ***vivianite*** est

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LXI, p. 437; 1861.

un pseudomorphe de ce sel et renferme des proportions variables de sesquioxyde de fer provenant de l'oxydation atmosphérique (1). Ce minéral se trouve à l'état très-bien cristallisé et à l'état terreux. Il y a plusieurs années, nous avons reçu du docteur Johnstone, de Birmingham, un os déterré pendant les travaux du chemin de fer qui traverse les prés de *Castle-Bromwich;* il était très-friable; sa couleur était foncée, d'un bleu grisâtre; il consistait principalement en acide phosphorique combiné avec du protoxyde et du sesquioxyde de fer. On a rencontré, dans une ancienne mine de la haute Silésie, un squelette humain dont divers os présentaient, à l'intérieur, des cristaux de vivianite et des taches gris bleuâtre. Cette mine avait été exploitée au treizième siècle, et on ignore depuis combien de temps le squelette y séjournait (2). M. Sandberger a remarqué dans des dents de cheval, extraites d'une prairie marécageuse, des cristaux de vivianite d'une ou deux lignes de longueur. Ils étaient limpides comme de l'eau, d'un éclat très-vif, et acquéraient graduellement la couleur du smalt par leur séjour à l'air (3). Notre ami le docteur Müller possède un fragment d'os de mouton dont la partie intérieure, fracturée, contient des petits cristaux aciculaires de vivianite bleue d'un éclat très-brillant. Cet échantillon a été trouvé près de Schleitz, dans le Voigtland saxon (*).

Selon M. Bischof, si une solution de carbonate de protoxyde

(*) L'un de nous a pu constater la présence de la vivianite dans l'intérieur d'un tibia, très-friable et coloré en brun foncé, provenant des fouilles faites en 1852 sous le maître autel de l'église de l'abbaye de Saint-Martin, pour y installer les machines en mouvement du Conservatoire impérial des arts et métiers. La tombe du prieur dont les ossements étaient alors exhumés, remontait au quatorzième ou au quinzième siècle et renfermait divers objets en fer. Les aiguilles de vivianite étaient rares et d'un bleu vif; mais dans d'autres parties, le phosphate cristallisé était resté tout à fait incolore.

(*Note des traducteurs.*)

(1) Rammelsberg, *Handb. Mineralchemie*, p. 325; 1860.
(2) Bischof, *Lehrb. d. chem. u. Physik. Geologie*, t. I, p. 725.
(3) *L. u. K. Jahresb.*, p. 858; 1854.

de fer dans de l'eau imprégnée d'acide carbonique, est mélangée avec une solution de phosphate de chaux dans le même liquide, et tenue à l'abri de l'air, le mélange devient trouble après quelque temps, et il en résulte un dépôt de phosphate de protoxyde de fer d'un blanc jaunâtre (1). M. Grill, de Suède, a vu en Allemagne introduire de la vivianite dans un haut fourneau, pour produire de la fonte riche en phosphore.

PHOSPHATE DE PROTOXYDE DE FER ET D'AMMONIAQUE. $2FeO, PO^5+NH^3+12HO$.—On le prépare en ajoutant de l'ammoniaque à une solution d'un sel de protoxyde de fer mélangée avec une solution de phosphate de soude. Il faut avoir soin que l'air soit exclu et que l'ammoniaque et le phosphate de soude soient en excès; on devra bien agiter le tout dans un flacon bouché à l'émeri. Le précipité floconneux qui apparaît d'abord, devient bien vite cristallin, de même que le sel magnésien correspondant. Le sel pur est blanc; mais, abandonné à l'air, il acquiert une teinte verte.

PHOSPHATE DE SESQUIOXYDE DE FER. $2Fe^2O^3,3PO^5+8HO$. — On fit dissoudre jusqu'à saturation, dans une solution aqueuse d'acide phosphorique, du phosphate de sesquioxyde qui avait été précipité en ajoutant du phosphate de soude à un sesquisel de fer soluble, et on laissa le tout dans un flacon bouché. Un an après, on trouva un dépôt, en masse, de cristaux transparents, durs et cubiques, ayant une légère teinte rosée, due, supposait-on, à du manganèse : à l'analyse, on leur trouva la formule indiquée ci-dessus. Le sel chauffé perdait son eau et devenait opaque, d'une couleur blanc sale; il était insipide, insoluble dans l'eau, mais soluble dans l'acide chlorhydrique, ainsi que dans l'ammoniaque caustique, où il prenait une coloration jaune brunâtre (2).

(1) Bischof, *Lehbr.*, t. I, p. 725.
(2) Winckler, cité dans le *Traité* de Berzélius, t. III, p. 593.

PHOSPHATE DE SESQUIOXYDE DE FER. SOUS-PHOSPHATE D'OXYDE FERRIQUE (Berzélius). Fe^2O^3,PO^5, ou $2Fe^2O^3,3PO^5 + Fe^2O^3$. — M. Debray a constaté que par l'exposition à l'air d'une solution acide obtenue en dissolvant du fer dans de l'acide phosphorique, et dans laquelle des cristaux de phosphate de protoxyde se sont formés par le repos, il se dépose contre les parois des vases une matière mamelonnée à peu près blanche, offrant au microscope des traces bien évidentes de cristallisation ; sa formule est : $Fe^2O^3,PO^5 + 4HO$ (1). On peut la préparer en ajoutant à une dissolution de sesquichlorure de fer une solution de phosphate de soude ordinaire. Ce sel contient 4 équivalents d'eau. Si le sel de fer est aussi neutre que possible, la liqueur devient acide. Le phosphate est précipité à l'état de poudre blanche, insoluble dans l'eau, mais soluble dans un excès de sesquichlorure de fer, dans les acides minéraux et dans le carbonate d'ammoniaque, En abandonnant à l'air une dissolution du phosphate acide ayant pour formule $2FeO,PO^5 + 3HO$ (2), M. Debray a obtenu ce sel en dépôt mamelonné offrant au microscope une structure nettement cristalline. Il ne subit aucun changement à l'air ; mais à une chaleur rouge, il se déshydrate et devient brun. Il se décompose complétement quand on le chauffe avec de la soude ou avec du carbonate de soude; tout l'acide phosphorique se sépare à l'état de phosphate de soude, Traité par une solution de potasse, il acquiert la couleur du sesquioxyde de fer, et une grande partie de l'acide est enlevée, mais jamais en totalité. Une solution de carbonate de soude le fait virer lentement au brun rouge et il se dissout partiellement dans un grand excès de cette solution (3). L'ammoniaque le rend brun et le dissout graduellement, pourvu qu'il y ait excès de phosphate de soude ou d'ammoniaque. La substance brune est un sel basique de la formule $3Fe^2O^3,2PO^5$

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LXI, p. 437 ; 1861.
(2) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LXI, p. 437.
(3) H. Rose, *Anal. Chem.*, t. I, p. 123; 1851.

$+ 16HO$. Le phosphate de sesquioxyde de fer est légèrement soluble dans une solution du sel de ce même oxyde, mais il est insoluble dans l'acétate de protoxyde de fer. D'où il résulte qu'en ajoutant de l'acétate alcalin et du sesquichlorure de fer à une solution de phosphate de sesquioxyde dans les acides, il reste un peu de ce dernier en solution; mais on peut l'empêcher en le réduisant d'abord en phosphate de protoxyde par l'acide sulfureux, le fer se trouve ainsi précipité complétement; cette précipitation s'opère rapidement par l'ébullition. Le phosphate de sesquioxyde de fer se dissout dans 12.500 fois son poids d'eau chargée d'environ son propre volume d'acide carbonique (1). Ce phosphate, à la chaleur rouge que donne une lampe d'Argand, se réduit dans l'hydrogène sec en pyrophosphate de protoxyde de fer, $2FeO,PO^5$; et lorsque ce sel est chauffé au rouge blanc au milieu d'un courant d'hydrogène, dans un tube de porcelaine, il se dégage de l'eau, de l'hydrogène phosphoré, de l'acide phosphoreux (PO^3) et du phosphore; il reste une masse non fondue, se rapprochant de la formule FeP^3.

On a encore décrit les phosphates de sesquioxyde de fer suivants :

PHOSPHATE SESQUIFERRIQUE. $3Fe^2O^3,2PO^5$, ou $2(2Fe^2O^3,3PO^5) + 5Fe^2O^3$. (Berzélius.) — Il est précipité par l'ammoniaque caustique, dans une dissolution par l'acide chlorhydrique du sel ayant pour formule Fe^2O^3,PO^5; il a la couleur de la rouille.

PHOSPHATE QUADRIFERRIQUE. $2Fe^2O^3,PO^5$, ou $2FeO^3,3PO^5 + 4Fe^2O^3$. (Berzélius.) — Il se rencontre, à l'état naturel, à Berneau, en Belgique, sous forme d'une substance amorphe, brune, ressemblant à de la résine; sous cet état, il contient 24 équivalents d'eau (2); il se délite dans l'eau. En langage minéralogique, il prend le nom de *delvauxite*.

(1) Pierre, *Anal. Chem.*; 1851.
(2) Berzélius, *Traité*, t. III, p. 594.

Traité par la potasse caustique, l'un ou l'autre de ces phosphates laisse déposer une substance qui contient 15 équivalents de sesquioxyde de fer contre 1 équivalent d'acide phosphorique. Berzélius désigne cette substance sous le nom de *phosphate hyperferrique*.

De l'action du fer, à une température élevée, sur le phosphate de chaux en présence du carbone. — Cette action a un grand intérêt pratique dans la fonte des minerais contenant du phosphate de chaux. M. Hochstätter a fait les expériences suivantes : ayant préparé un mélange de 45gr.35 de fil de fer mince, coupé en petits morceaux, avec 56gr.35 de cendres d'os, et 38gr.86 d'anthracite en poudre, il le soumit pendant une heure au rouge blanc dans un creuset de plombagine couvert. Il en résulta une masse frittée contenant des fragments de fil de fer dans leur forme primitive, sauf aux points où ils s'étaient fondus au contact les uns des autres. Le fil était fragile ; sa cassure avait un grain fin et sa couleur s'approchait du blanc d'argent. En lavant à l'eau la cendre d'os et l'anthracite, pour les séparer du fil, il se dégageait de l'hydrogène phosphoré qui ne s'enflammait pas spontanément, ce qui prouverait que du phosphure de calcium s'était formé. Après ce traitement, le fil fut fondu sous du verre pilé dans un creuset d'argile couvert ; le culot était bien venu ; il pesait 45gr.73 et était nuancé de bleu à la surface. Il était très-dur, fragile et très-magnétique, d'un grain fin et d'une cassure rappelant celle de l'argent, sauf sur certains points teintés de bleu ; sa pesanteur spécifique était égale à 7.8. A l'analyse, sa composition était de 87.19 pour 100 de fer, et de 12.66 pour 100 de phosphore, correspondant à peu près à la formule Fe^2P.

MM. Price et Nicholson, chimistes au laboratoire d'Aberdare pendant trois ans, ont publié sur ce sujet les résultats de quelques essais intéressants et instructifs. Ils firent chauffer dans des creusets des mélanges d'hématite pure, de phosphate de chaux d'une composition connue, de flux et de

coke, et ils déterminèrent la proportion de phosphore dans les culots. Leurs résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous (1) :

Numéros des expériences.	Poids de l'hématite en grammes.	Poids du phosphate de chaux en grammes.	Poids du flux en grammes.	Poids du coke en grammes.	Phosphore pour 100 dans le culot	
					calculé.	trouvé.
I	10.0	0.25	10.0	2.25	0.60	0.56
II	10.0	0.75	10.0	2.25	1.83	1.60
III	10.0	2.50	10.0	2.50	6.20	2.60
IV	10.0	5.00	10.0	2.50	12.60	6.00

Les mêmes chimistes ont publié dans le tableau suivant les résultats de leurs essais sur d'autres matières contenant du phosphore :

	Minerais et scories.	Chaux.	Coke.	Flux.	Phosphore pour 100 dans le culot	
					calculé.	trouvé.
V. Blackband du pays de Galles, qualité ordinaire, grillé........	10.00	3.5	1.75	»	0.82	0.81
VI. Minerai de fer argileux, très-riche en acide phosphorique, grillé	10.0	1.5	1.20	»	6.60	6.41
VII. Hématite brune, riche en acide phosphorique...............	10.0	»	»	10.0	6.90	6.70
VIII. Scorie de fourneau à puddler	10.0	»	2.0	10.0	13.60	12.50
IX. Scorie de fourneau à baller.............	10.0	»	2.0	10.0	2.27	2.25

Dans ces minerais, l'acide phosphorique a été considéré comme étant en combinaison avec la chaux, et celui des scories comme existant à l'état de phosphate de fer : le flux consistait en deux parties de schiste et une partie de chaux. Dans toutes ces expériences, la durée du feu a été à peu près la même. On remarquera dans les numéros I et II, que la proportion de phos-

(1) *Phil. Mag.*, t. X, p. 423; déc. 1855.

phore trouvée s'accorde assez bien avec celle déduite par le calcul, tandis que dans les numéros III et IV la quantité est bien moindre. Les auteurs ne doutent pas que cet écart ne soit dû à la durée de la réduction, car, après avoir souvent répété les essais avec les mêmes proportions de mélange, ils ont reconnu que la quantité de phosphore dans le culot variait considérablement, sans qu'ils aient jamais réussi à obtenir plus des quatre cinquièmes de la quantité totale. Si, cependant, on avait prolongé suffisamment la cémentation, il est très-probable que tout l'acide phosphorique aurait été réduit.

De l'action du fer, à une haute température, sur le phosphate de chaux en présence du carbone et de la silice libre. — M. Wöhler avait précédemment étudié cette action. M. Hochstätter a opéré l'essai suivant de la manière déjà indiquée. Les proportions du mélange étaient : 64^{gr}.77 de fil de fer coupé fin, 80^{gr}.96 de cendre d'os, 40^{gr}.48 de sable blanc fin et 16^{gr}.19 de poudre d'anthracite. Le produit consistait en un culot couvert de scorie imparfaitement fondue et contenant des globules de métal. Le culot et la scorie, débarrassés de l'excès d'anthracite, furent refondus dans un creuset d'argile couvert : le culot bien venu pesait 63^{gr}.74. La scorie avait été parfaitement liquéfiée, sa couleur était blanc grisâtre. Le culot était cristallin à la surface, très-dur, fragile et fortement magnétique. Sa cassure était à grain fin, d'un blanc grisâtre, avec de nombreuses petites cavités tapissées de cristaux à reflet bleu irisé ; sa densité était 7.25. Par l'analyse, on trouva 85.78 pour 100 de fer et 14.10 pour 100 de phosphore ; cette composition se rapproche de la formule Fe^6P.

De l'action du phosphore sur du fer contenant du soufre. — D'après M. Janoyer, le phosphore ne chasse pas le soufre de sa combinaison avec le fer, et à l'appui de cette assertion, il cite ses essais (1).

1° 10 grammes de fil de fer très-fin, coupé en très-petits

(1) *Ann. des Mines*, 5e série, t. VI, p. 165 ; 1854.

morceaux, ont été fondus dans un creuset d'argile non brasqué avec 0gr.20 de pyrite de fer. Le culot était bien venu et contenait 0.994 pour 100 de soufre.

2° 10 grammes de ce même fer furent fondus de la même manière avec 0gr.20 de pyrite de fer et 0gr.20 d'os calcinés. Le culot était bien fondu et contenait 1.005 pour 100 de soufre.

MANGANÈSE ET PHOSPHORE.

Comme le manganèse joue souvent un rôle important dans la sidérurgie, les expériences suivantes de M. Hochstätter trouvent ici leur place : 129gr.54 de pyrolusite de Suède (MnO^2) presque pur furent mélangés intimement avec 129gr.54 de cendres d'os, 64gr.77 de sable blanc fin et 38gr.86 de noir de fumée préalablement chauffé au rouge dans un creuset couvert. On soumit pendant deux heures à une chaleur blanche le mélange, dans un creuset d'argile couvert. Le culot était bien venu, recouvert d'une scorie d'un brun verdâtre, dur, fragile et faiblement magnétique, à cause sans doute de la présence d'un peu de fer; sa cassure était d'un blanc grisâtre nuancé de rouge, très-cristalline, avec de nombreux cristaux bien définis; sa densité était 5.53 ; il se dissolvait en partie dans l'acide chlorhydrique à chaud, avec dégagement d'hydrogène pur et d'hydrogène phosphoré, et il restait un résidu noir, qui ne fut pas examiné ; le culot contenait 21.97 pour 100 de phosphore, correspondant à peu près à la formule Mn^4P.

FER ET ARSENIC.

Sous-arséniure de fer. Fe^2As. — Les renseignements recueillis sur cet arséniure sont non-seulement incomplets, mais encore contradictoires. Ainsi, d'après Gehlen et Bergmann (1), il

(1) Gmelin, *Handb.*, t. V, p. 303.

ne fond pas, tandis que, suivant Berthier, il est très-fusible. Berthier en a donné la description suivante : Il est d'un gris de fer, très-fragile ; il présente à la cassure de grandes et éclatantes lamelles ; il n'est pas magnétique ; il est très-fusible, inattaquable par l'acide chlorhydrique ou sulfurique, mais facilement attaqué par l'acide azotique ; il se dissout dans l'acide chloronitrique, qui le convertit en arséniate de sesquioxyde de fer. Il est fixe à 150 degrés (pyr. W.). Le même métallurgiste ajoute que cet arséniure peut s'obtenir par le procédé suivant : On chauffe peu à peu à la chaleur blanche un mélange de 100 parties en poids de battitures de fer en poudre, 50 d'acide arsénieux, 50 de carbonate de soude et 20 d'amidon; on a 100 d'arséniure qui, fondu de nouveau avec de l'acide arsénieux, du carbonate de soude et de l'amidon, absorbe 25 parties additionnelles d'arsenic. En chauffant une troisième fois cet arséniure avec le même mélange, il prend encore 15 parties d'arsenic ; il s'en trouve alors saturé, et il en contient un peu plus d'un équivalent pour 2 de fer ; il est un peu bulleux, grenu et facilement pulvérisable (1).

Arséniure de fer. FeAs.— Ce composé se rencontre à l'état naturel dans plusieurs localités, telles que : Reichenstein, en Silésie ; Fossum, en Norvége ; Schladming, en Styrie ; Breitenbrunn, en Saxe, et Andreasberg dans le Harz (2). On admet aussi l'existence d'un autre composé naturel de la formule Fe^4As^3; qui se trouve à Reichenstein et à Geier dans l'Erzgebirge (3) : nous n'examinerons que le premier. La densité de l'arséniure de Reichenstein varie entre 8.67 et 8.71. Il cristallise dans le système prismatique (Miller) ; son éclat est métallique et sa couleur blanche ; il est fragile, à cassure inégale, se classe entre l'apatite et le feldspath pour la dureté ; il

(1) Berthier, *Traité*, t. II, p. 203.
(2) G. Rose, *Krystallo-chemische Mineral system*, p. 53 ; 1852 ; Rammelsberg, *Handb. d. Mineralchem.*, p. 19 ; 1860.
(3) Rammelsberg, *Handb. d. Mineralchem.*, p. 18.

est insensible à l'aimant. Chauffé en vase clos, il laisse un résidu noir, magnétique, métallique; grillé à l'air, il dégage en abondance de l'acide arsénieux, et il reste de l'arséniate basique de sesquioxyde de fer. Il est attaqué par les acides azotique et chloronitrique, mais l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique dilué ne l'attaquent pas.

BIARSÉNIURE DE FER. $FeAs^2$.—On fait chauffer au rouge, dans la vapeur d'arsenic métallique, du fer provenant du peroxyde de fer réduit par l'hydrogène. L'essai s'opère dans un tube de verre traversé par un courant continu d'hydrogène sec. On chauffe le tube sur un fourneau de combustion à gaz servant aux analyses organiques. Le fer étant porté au rouge, l'arsenic se volatilise, et sa vapeur est entraînée sur le fer par le courant d'hydrogène. Il n'y a pas la moindre incandescence, quoique le fer absorbe rapidement et complétement l'arsenic, dont aucune trace n'est visible pendant longtemps. On continue l'expérience jusqu'à ce que l'arsenic soit tout à fait volatilisé et déposé au delà du fer, dans le tube. Si l'on examine le produit après refroidissement, on constate qu'il ne présente aucun indice de fusion, mais qu'il s'est contracté en volume; il est tout aussi pulvérulent que le fer réduit, avant d'avoir été exposé au contact de la vapeur arsénicale; sa couleur est grise, et le barreau aimanté n'exerce aucune action sur lui. Lorsqu'une partie est chauffée au rouge à l'air, la combustion se propage dans la masse, qui brûle comme de l'amadou et développe des vapeurs abondantes d'arsenic. Mélangé avec un peu de chlorate de potasse, il s'enflamme comme de la poudre à canon, en émettant une odeur d'arsenic métallique. Il n'est pas sensiblement attaqué par l'acide chlorhydrique ou par l'acide sulfurique dilué. Il contient 14.06 pour 100 de fer, ce qui correspond presque à la formule $FeAs^2$ indiquée ci-dessus. En prenant $As = 75$, la composition pour 100 calculée d'après la formule est de 15.70 pour 100 de fer.

M. Richardson a fait cet essai dans notre laboratoire. Dans un autre essai de même nature, le produit était légèrement fritté, d'un gris d'acier clair, non magnétique et facilement pulvérisable. Il n'était attaqué ni par l'acide chlorhydrique, ni par l'acide sulfurique dilué. Il consistait en 28.58 pour 100 de fer et 70.83 pour 100 d'arsenic. Les deux éléments furent dosés quantitativement, l'arsenic ayant été pesé à l'état d'arséniate d'ammoniaque et de magnésie. Exposé de nouveau au rouge pendant longtemps à l'action de la vapeur d'arsenic, ce produit avait le même aspect qu'auparavant; il contenait 26 pour 100 de fer, ce qui correspond presque à la formule FeAs.

ARSÉNIURE DE FER DE LA FORMULE Fe^4As. — On fait fondre sous du verre pilé, dans des creusets d'argile couverts, des mélanges de fil de fer coupé en petits morceaux et d'arsenic en excès. Les produits bien fondus se ressemblent beaucoup; ils sont très-cassants, d'un gris clair, d'un éclat brillant, à grains serrés et plutôt cristallins sur la cassure; mais ils diffèrent beaucoup par leur composition.

On chauffe presque à la chaleur blanche dans un creuset d'argile, des morceaux de fer feuillard, puis on y laisse tomber l'excès d'arsenic; la combinaison s'effectue subitement, avec une vive incandescence, et le fer se fond complétement. Dans deux expériences, les produits ont été trouvés identiques à ceux précédemment obtenus avec le fil de fer; ils produisirent respectivement 53.02 et 56.38 pour 100 de fer. On les fit chauffer encore pendant deux heures environ, presque à la chaleur blanche, sous du verre pilé, dans des creusets d'argile avec couvercles lutés. Les produits ne parurent pas avoir subi de changement; ils contenaient respectivement 58.70, et 57.74 pour 100 de fer, se rapprochant ainsi de la formule Fe^4As, qui donne 59.89 pour 100 d'arsenic.

ARSÉNIURE DE FER DE LA FORMULE Fe^6As. — Dans l'essai par

la voie sèche de divers minerais contenant de l'arsenic, il se forme souvent un *speise*, composé principalement de fer et d'arsenic; et quoiqu'il se produise dans des circonstances variables, sa composition et son aspect restent à peu près les mêmes. Les deux exemples suivants ont été choisis parmi les nombreux essais pratiqués par M. Smith, dans notre laboratoire métallurgique.

1. Un minerai aurifère, composé de pyrite de fer, de pyrite arsenicale, de sesquioxyde de fer, de silice, etc., fondu avec du borax, du carbonate de soude, de la litharge et du charbon de bois, le tout brassé avec une tige de fer, donna un speise renfermant pour 100 :

Fer.	70.93
Arsenic (par différence) . . .	28.89
Soufre (=FeS 0.49).	0.18

2. Un échantillon de galène arsenicale réduite avec du carbonate de soude, après introduction d'un morceau de fer feuillard, donna un speise qui contenait pour 100 :

Fer.	72.17
Arsenic (par différence). . .	27.58
Sulfure (=FeS 0.69). . . .	0.25

La composition du speise dans ces deux cas peut se représenter assez exactement par la formule Fe^6As. Calculée d'après cette formule, la composition pour 100 est de :

Fer..	69.14
Arsenic..	30.86

Le speise est d'un blanc grisâtre, dur et très-friable. La surface de la cassure est brillante, cristalline, à texture serrée et ressemblant à certaines variétés de « fer affiné. » La température à laquelle il se forme est bien inférieure au point de fusion du fer forgé, et les circonstances de sa formation sont telles, que l'arsenic peut retenir le maximum de fer. Il

est très-fluide quand il est fondu et se moule suivant les arêtes vives de la lingotière où il se solidifie.

M. Levick, des forges de Blaina, nous a remis la moitié d'un boulet de canon, choisi parmi un grand nombre de projectiles achetés comme vieux fer à Sinope ; il a 0m.146 de diamètre et est nettement cassé par le centre. La surface de cassure présente une structure cristalline magnifiquement rayonnée, avec des facettes longues, étroites, brillantes, qui s'étendent du centre à la circonférence ; sa couleur est le gris blanc comme celle du fer blanc. On y distingue plusieurs cavités dénotant une mauvaise fonte. De la limaille retirée en forant l'un de ces boulets fut analysée, en 1859, par notre ami le docteur Noad, qui a bien voulu nous communiquer les résultats de ses analyses.

Silicium.	Traces.
Soufre.	0.57
Phosphore.	Traces.
Arsenic..	16.20

Une deuxième analyse donna presque les mêmes résultats. En prenant As = 75, la composition peut se représenter à peu près par la formule $Fe^{14}As$. Un morceau de « barre puddlée » fabriquée avec ces boulets avait « une cassure miroitante très-cristalline et résistait à la soudure. » Il contenait 0.87 pour 100 d'arsenic. L'arsenic fut pesé à l'état d'arséniate ammoniaco-magnésien desséché à 100° C.

Lors de la conquête d'Alger, il s'est trouvé dans l'arsenal des boulets et des bombes que l'on ne pouvait employer en nature, et que l'on a importés en France pour les refondre et les mouler en projectiles ou pour les convertir en fer malléable ; mais on reconnut bientôt qu'il était impossible d'en tirer aucun parti, tant la fonte était de mauvaise qualité. Berthier y trouva beaucoup d'arsenic, et sa description de la cassure du métal se rapproche de celle que nous venons de citer. Les

boulets étaient encore plus fragiles que les bombes. Voici les résultats des analyses de Berthier :

	Bombes.	Boulets.
Arsenic.	9.8	27.0
Carbone.. . . .	1.5	1.0
Fer.	88.7	72.0
	100.0	100.0
Pesanteur spécifique.	7.585	7.65

Ils ne contenaient ni soufre, ni manganèse, ni cuivre, ni silicium. En faisant bouillir des fragments dans de l'acide chlorhydrique, l'arsenic passa tout entier à l'état insoluble sous forme de poudre noire, grenue (supposée FeAs), qui s'oxyda très-lentement et avec beaucoup de difficulté à l'air, même après avoir été imbibée d'acide chlorhydrique. Mais le métal des bombes et des boulets, en l'humectant souvent avec de l'eau, s'oxyda très-vite à l'air; lorsqu'on traita plus tard la matière oxydée par de l'acide chlorhydrique, le carbone resta mélangé avec une grande quantité d'arséniure de fer, et l'on ne trouva pas du tout d'arsenic dans la solution, ce qui prouverait qu'il ne s'était pas formé d'arséniate pendant l'oxydation. Ces projectiles, croyait-on, avaient été moulés en Espagne; mais on ignorait à quelle époque. Berthier était embarrassé sur l'origine des minerais d'où provenaient ces fontes; il conclut que ce ne pouvait pas être du *mispickel*, puisqu'il n'avait pas trouvé de soufre dans ses analyses; mais qu'il devait exister quelque part en Espagne des dépôts abondants d'arséniure ou d'arséniate de fer (1).

Avec des flux appropriés, il ne serait pourtant pas difficile d'extraire du mispickel un alliage de fer et d'arsenic pratiquement exempt de soufre.

Arsénite de protoxyde de fer. $2FeO, AsO^3$. —Berzélius le décrit comme un précipité blanc qui se dissout dans l'ammoniaque caustique, s'oxyde très-vite pendant le lavage et acquiert

(1) *Ann. des Mines*, 3e série, t, XI, p. 501; 1837.

une couleur d'ocre jaune. Lorsqu'il est chauffé à cet état en vase clos, il donne d'abord de l'eau et puis se liquéfie; l'acide arsénieux se sublime alors, et il reste une masse fondue couleur de rouille (1).

Arséniate de protoxyde de fer, $2FeO, AsO^5$. — Selon Berzélius, il se précipite à l'état de poudre blanche, qui, au contact de l'air, devient brune et ensuite vert sale; le protoxyde se convertit pendant ce changement en oxyde magnétique de fer, Chauffé en vase clos, le sel neutre acquiert une couleur d'un gris sombre et produit un sublimé d'acide arsénieux; tandis que le protoxyde de fer atteint un degré plus élevé d'oxydation aux dépens de l'oxygène de l'acide arsénique, qui se trouve ainsi réduit en acide arsénieux. L'arséniate de protoxyde de fer est faiblement soluble dans l'ammoniaque caustique, et la solution devient verte en séjournant à l'air; mais il ne forme pas, comme le phosphate correspondant, un composé ammoniacal insoluble dans l'eau (2).

Arséniate de sesquioxyde de fer, $2Fe^2O^3, 3AsO^5$.—Berzélius le représente comme une poudre blanche, insoluble dans l'eau, qui devient rouge quand on la chauffe et donne 17.68 pour 100 d'eau, ou 12 équivalents. Au rouge naissant, il dégage une faible lumière et devient ensuite plus pâle et jaunâtre. Il se dissout dans les acides. A l'état humide, il se dissout promptement quand on verse dessus de l'ammoniaque caustique; mais, après avoir été séché, il n'est soluble dans cet alcali que par digestion; la solution est rouge et transparente; abandonnée dans un lieu chaud, elle laisse échapper de l'ammoniaque sans que l'arséniate se précipite; la liqueur, qui a perdu son odeur, reste limpide et s'évapore en une masse fendillée, transparente, couleur rubis, qui se compose d'un sous-sel double.

(1) *Traité*, t. III, p. 581.
(2) Berzélius, t. III, p. 581.

Celui-ci se décompose partiellement dans l'eau et est dissous par l'ammoniaque ; on recueille, par la distillation sèche de l'eau, de l'ammoniaque et enfin de l'acide arsénieux et il reste une masse verdâtre dans la cornue (1). Berzélius n'indique pas comment ce sel est préparé. En ajoutant de l'arséniate de potasse à du sesquichlorure de fer renfermant un peu d'acide libre, il se forme un précipité abondant de ce sel, qui n'est pas d'un blanc pur, mais qui a une teinte chamois pâle. Après avoir séché lentement, il devient un peu plus foncé en couleur. Porté au rouge dans un tube fermé, il se dépose d'abord de l'eau, puis un peu de sublimé cristallin d'acide arsénieux. Il ne fond pas et conserve à peu près la même couleur qu'avant la calcination.

ARSÉNIATE DE SESQUIOXYDE DE FER. ARSÉNIATE SESQUIFERRIQUE (Berzélius). Fe^2O^3, AsO^5. — Le minéral cristallisé, *scorodite*, a pour formule Fe^2O^3, $AsO^5 + 4HO$. On prépare cet arséniate en oxydant l'arséniate neutre de protoxyde de fer par de l'acide azotique et en évaporant l'acide azotique restant, ou en précipitant le sel par de l'ammoniaque qui ne le dissout, ni ne le décompose. Il se réduit partiellement par la potasse, avec formation d'un sel basique, semblable pour l'aspect à du sesquioxyde de fer précipité également par de la potasse, mais qui n'est pas décomposé par une addition de cet oxyde. Ce sel contient 7 pour 100 d'acide arsénique et 13.4 pour 100 d'eau. Berzélius lui assigne la formule suivante, très-compliquée :

$$Fe^2O^3, 3AsO^5, 3HO + 25(2Fe^2O^3, 3HO).$$

Chauffé au rouge naissant, il devient de suite incandescent.

ARSÉNIATE DE SESQUIOXYDE DE FER. $2Fe^2O^3$, $AsO^5 + 12HO$. —

(1) *Traité*, t. III, p. 602.

On l'a rencontré près de Freiberg, et les minéralogistes le connaissent sous le nom de *eisensinter* (1).

Le beau minéral connu sous le nom de *minerai cubique* a, d'après Rammelsberg, la formule suivante :

$$4Fe^2O^3, 3AsO^5 + 15HO,$$

ou, comme il l'écrit:

$$3(Fe^2O^3,AsO^5 + 4aq) + Fe^2O^3, 3HO.$$

On pourrait supposer avec raison, à cause de la belle couleur verte dont jouit généralement ce minéral, qu'il contient au moins du protoxyde de fer, comme Berzélius l'admettait. Cet exemple de coloration verte dans un sel de sesquioxyde de fer est si exceptionnel, qu'il importe de démontrer si elle est réellement due au protoxyde ou non.

On peut extraire complétement l'arsenic du fer en faisant brûler dans un creuset d'or, le métal réduit en poussière fine avec du nitre et du carbonate de soude. En lavant le résidu, on sépare l'arsenic à l'état d'arséniate alcalin soluble, tandis qu'il reste du peroxyde de fer pur. De même, on peut débarrasser tout sel de fer de l'acide arsénieux ou arsénique, en le faisant fondre avec un carbonate fixe alcalin, dans un creuset de platine. L'acide arsénique se précipite encore complétement à l'état d'arséniate ammoniaco-magnésien. Le sel de fer devra être dissous dans l'acide chlorhydrique, peroxydé, traité par l'acide tartrique, puis par un excès d'ammoniaque et par une solution d'un sel de magnésie mélangé préalablement avec un sel ammoniacal en quantité suffisante pour empêcher la précipitation de la magnésie par l'ammoniaque. Après quelques heures de repos, tout l'arsenic se dépose à l'état de sel magnésien bien cristallisé, que l'on recueille sur un filtre ; lavé avec de l'eau fortement chargée d'ammoniaque, puis séché à 100° C., on le pèse. Le sel ainsi desséché a pour formule

(1) Rammelsberg, *Handb.*, p. 371; 1860.

$2MgO,NH^4O,AsO^5 + HO$; il contient 60.53 d'acide arsénique et 21.05 pour 100 de magnésie. Si on le chauffe *rapidement* au rouge, le sel perd son eau et son ammoniaque ; mais ce dernier oxyde exerce une action réductrice sur l'acide arsénique et occasionne une perte de 4 à 12 pour 100 d'arsenic.

Cémentation du fer ou de l'acier par l'arsenic. — Nous sommes redevable à M. C. Ekman, de Gothenburg, en Suède, des renseignements suivants sur ce mode de cémentation : on mélange du cuir râpé, de la corne ou toute autre matière animale azotée, avec une dissolution d'acide arsénieux dans l'acide chlorhydrique, jusqu'à la consistance d'une bouillie.

La surface du métal, d'une lime par exemple, est enduite avec cette composition, sur $0^m.0016$ environ d'épaisseur ; puis on chauffe au rouge clair dans un moufle ou dans un cylindre de fer, comme on fait habituellement pour durcir l'acier. Il se produit ainsi une surface blanche d'arséniure de fer d'une grande dureté. M. Ekman nous assure que du fer ainsi cémenté est garanti réellement contre la rouille, et, comme preuve, il rapporte le fait suivant : en 1832, on choisit deux pièces de fer identiques sous tous les rapports, mais dont l'une avait été cémentée de la façon indiquée. On exposa pendant quinze ans ces deux pièces exactement dans les mêmes circonstances ; le morceau non cémenté était tout rouillé, tandis que l'autre avait conservé sa surface primitive, d'un blanc brillant ; ce fait se confirmerait-il, que l'application de l'enduit arsenical aurait une valeur pratique. D'après ce renseignement, nous avons fait, il y a quelques années, un ou deux essais, sans qu'ils aient répondu au but proposé. Nous avions fait chauffer au rouge, pendant quelque temps, du fer, enterré dans un mélange de poussier de charbon de bois et d'un arsénite alcalin. La surface du fer avait bien durci, mais elle n'était pas pour cela préservée de la rouille. Nous ne prétendons pas toutefois opposer ce résultat à l'assertion d'un observateur aussi soigneux et aussi digne de foi que M. Ekman.

SILICIUM.

Il n'y a pas d'élément dans la fabrication du fer dont il est plus utile d'étudier le rôle sur la fonte que le silicium; et pourtant les connaissances acquises jusqu'ici sont loin d'être complètes. Le silicium a commencé, ces derniers temps seulement, à révéler son action aux hommes mêmes qui se glorifient d'être de purs praticiens et qui affectent un certain mépris pour tout ce qui est scientifique. Le silicium est non-seulement un des principes constants de la fonte (*), mais encore il joue, à l'état de silice, un rôle important dans la formation des scories, tant pour la réduction du minerai à l'état métallique que pour les transformations successives de la fonte en fer forgé. C'est par cette raison que, le silicium n'ayant été étudié que récemment, nous décrirons brièvement sa nature et ses propriétés. Nous sommes redevable à MM. Wöhler et Deville de la plupart de nos connaissances sur une des matières les plus répandues à la surface de l'écorce terrestre.

Poids atomique. 22.2; d'après M. Dumas, 21.075 (1).

Le silicium existe, suivant M. Deville, sous trois états allotropiques : amorphe, graphitoïde et diamant, comparables aux formes qu'affecte le charbon (2).

(*) Le silicium contenu dans la fonte peut se trouver à l'état de combinaison avec le fer, ou combiné à d'autres corps qui l'accompagnent; M. Schaffhaütl a remarqué un composé de soufre et de silicium. Le silicium se retrouve dans le résidu insoluble provenant du traitement de la fonte par un acide, à l'état d'acide silicique SiO^2 ou d'oxyde de silicium SiO. Enfin, d'après M. Calvert, bien que le fait n'ait pas été souvent remarqué par M. Hahn, les gaz provenant de la dissolution des fontes dans les acides contiendraient de l'hydrogène silicié. (*Note des Traducteurs.*)

(1) *L. u. K. Jahresb.*, p. 5; 1859.

(2) Nous citons les autorités que nous avons consultées. Nous n'avons pas hésité à traduire littéralement des passages entiers, sans changement et sans recourir aux guillemets. Berzélius, t. I, p. 505 et suiv.; Deville, *Mémoire sur le silicium*, Ann. de chim. et de phys., 3e série, t. XLIX, p. 67-78; 1857; Wöhler, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XLVII, p. 116; 1856.

Silicium amorphe. — Berzélius en donne la description suivante : c'est une poudre d'un brun foncé, qui ne conduit pas l'électricité, et qui, à l'état sec, adhère fortement aux doigts et à tous les objets avec lesquels elle se trouve en contact. On ne peut pas fondre le silicium amorphe, mais vient-on à le chauffer très-fortement, il éprouve un changement notable ; sa densité augmente et sa couleur se fonce. Berzélius considérait le silicium fortement chauffé comme une variété allotropique, qu'il comparait à celle du charbon, après un traitement identique. Le silicium était représenté avant d'avoir été chauffé, par le symbole Siα, et après avoir été chauffé, par le symbole Siβ.

Siα. Il brûle très-vivement à l'air, mais il ne s'en oxyde qu'un tiers environ, le reste étant protégé par la couche de silice qui l'enveloppe. Il brûle encore plus vivement dans l'oxygène, en donnant naissance à un peu d'eau et à une faible flamme bleuâtre à la surface, ce qui prouve la présence de l'hydrogène ; on constate cette production, même après avoir eu soin de faire chauffer préalablement le silicium presque au rouge dans le vide. Il n'est pas dissous ni oxydé par les acides azotique, sulfurique, chlorhydrique ou chloronitrique, pas même à la température d'ébullition, mais il se dissout avec dégagement d'hydrogène dans l'acide fluorhydrique sans qu'on ait recours à la chaleur, et dans une solution concentrée de potasse caustique à chaud.

Siβ. En traitant Siα, après la combustion, par l'acide fluorhydrique, la silice qui s'y trouve mêlée se dissout et il reste une poussière d'un brun-chocolat foncé qui se précipite dans l'acide sulfurique concentré, et n'est plus inflammable dans l'air atmosphérique ni dans l'oxygène. Il ne brûle pas au contact du chlorate de potasse ou du nitre, à une chaleur rouge modérée. Ni l'acide fluorhydrique, ni la solution de potasse caustique ne l'attaquent, même à la température d'ébullition, mais il se dissout très-facilement dans un mélange d'acide fluorhydrique et azotique, avec dégagement d'oxyde nitrique.

Berzélius décrit plusieurs méthodes pour préparer le silicium : — en chauffant du potassium et du fluorure de silicium ; — en chauffant du fluorure de potassium et de silicium avec du potassium ; — en chauffant du potassium dans de la vapeur de chlorure de silicium et en extrayant par lavage le chlorure de potassium du produit ; — enfin, en chauffant ensemble de la silice et du potassium. Il recommande ces méthodes, sauf la dernière que M. Deville indique comme la meilleure pour obtenir du silicium pur, amorphe et en grande quantité. Les instructions de M. Deville se résument ainsi : — On tapisse complétement l'intérieur d'un large tube de verre de très-fines lames de mica, puis on y introduit plusieurs nacelles de porcelaine garnies de sodium. Ce tube est mis en communication avec une cornue tubulée au moyen d'un bouchon de liége. A la tubulure de la cornue est adapté un bouchon percé de deux trous, l'un qui laisse passer un tube amenant de l'hydrogène sec, l'autre par lequel entre un tube à entonnoir ; quelques gouttes de mercure versées dans la cornue suffisent pour fermer l'entonnoir. On fait passer un courant d'hydrogène à travers l'appareil, puis on porte le tube au rouge ; alors on verse par l'entonnoir dans la cornue le chlorure de silicium qu'on se propose de décomposer. La cornue est chauffée doucement, de façon que le chlorure de silicium puisse entrer en ébullition ; sa vapeur arrivant sur le sodium, il est absorbé avec un dégagement de chaleur et de lumière très-considérable. On continue l'opération jusqu'à ce qu'elle paraisse épuisée, et même jusqu'à ce que le tube soit complétement fondu et déformé : sans cette précaution, il resterait du sodium intact. On lave longtemps à l'eau bouillante le mélange de chlorure de sodium et de silicium, avant de le sécher. Suivant M. Deville, le silicium qu'on recueille, ressemble parfaitement au Siβ de Berzélius. En suspension dans l'eau, si on l'observe au soleil, il paraît brillant et micacé. (N'est-il pas alors cristallin ?) Il se fond, contrairement à l'assertion de

Berzélius, qui le croyait infusible à une température intermédiaire entre les points de fusion de la fonte et de l'acier ; on peut le fondre facilement dans des creusets de charbon. Après la fusion, il offre des indices très-remarquables de cristallisation ; les globules sont striés parallèlement à de grands cercles qui se coupent sous des angles qui paraissent sensiblement égaux ; ils n'offrent aucune trace de clivage ; leur couleur est le gris d'acier un peu foncé, avec un éclat qui les fait ressembler à du fer spéculaire ; ils rayent et même ils coupent le verre avec la plus grande facilité et sont très-cassants.

M. Deville recommande un autre procédé qui réussit également bien, pour préparer le silicium amorphe. On fait un verre, exempt de fer, en fondant dans un creuset de platine un mélange de 98 parties en poids de silice, 27 de spath d'Islande, et 21 de carbonate de potasse pur et fondu. Ce verre grossièrement pulvérisé est introduit avec une quantité de sodium insuffisante pour en décomposer même la moitié, dans un tube de verre ordinaire qu'on chauffe jusqu'au rouge. Il n'y a aucun dégagement de chaleur pendant la réduction de la silice ; mais l'opération est terminée quand tout le sodium interposé entre les particules de verre pilé a disparu. On retire la masse noire qui en résulte, pour l'introduire dans un creuset de charbon enfermé dans un creuset ordinaire, et on chauffe violemment dans un four à vent. Le silicium se répartit dans le verre fondu et enfumé, semblable à de l'obsidienne, sous forme de petits globules très-cassants et d'un gris d'acier, qu'on extrait aisément en concassant la masse vitreuse en petits fragments.

MM. Buff et Wöhler indiquent le procédé suivant pour faire du silicium amorphe avec du fluorure de sodium et de silicium (fluosilicate de soude); on mélange le sel avec environ son poids de sel marin fondu. On ajoute à ce mélange du sodium en petits fragments et on jette le tout dans un creuset d'argile chauffé au rouge, que l'on couvre et que l'on chauffe au rouge sombre. Après le refroidissement, on fait bouillir la

masse avec de l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique et le silicium résultant est débarrassé par l'acide fluorhydrique de la silice qu'il contient (1).

On peut extraire le silicium en faisant passer le courant d'une pile de quatre éléments Bunsen à travers un mélange en fusion, à parties égales en poids, de fluorure de potassium et de fluorure de sodium, où l'on a fait dissoudre préalablement de la silice calcinée. Le silicium apparaît au pôle négatif et l'oxygène s'échappe au pôle positif. On peut se servir, dans cette expérience, d'électrodes de charbon. La silice se dissout entièrement, quand on l'ajoute aux fluorures mélangés à l'état de fusion.

Il paraît y avoir quelques contradictions dans la description du silicium amorphe donnée par M. Deville. Ainsi, il écrit, à propos du silicium résultant de l'action du sodium à une chaleur rouge sur le chlorure de silicium : « La matière qu'on recueille, ressemble tout à fait au silicium que Berzélius compare au charbon violemment chauffé. » Or, M. Deville désigne cette matière sous le nom de silicium *amorphe;* mais il ajoute plus loin, à l'occasion du silicium graphitoïde, que cette variété « participe à toutes les propriétés que Berzélius assigne au silicium fortement chauffé, si ce n'est qu'il offre peut-être encore plus de résistance à l'action comburante de l'oxygène. » Si nous sommes dans le vrai, les méthodes que M. Deville a décrites pour la préparation du silicium amorphe, donnent réellement du silicium cristallin, et non pas le véritable Siα de Berzélius. Mais il est douteux qu'on ait jamais obtenu cette variété à l'état de pureté absolue, et en même temps très-amorphe (2).

Silicium graphitoïde. — M. Deville a obtenu le premier cette belle substance en mélange avec l'aluminium. M. Wöhler a décrit un procédé propre à le séparer à volonté sous cette

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LII, p. 283; 1858.
(2) Voir la note des traducteurs, page 140.

forme. Il consiste à traiter dans un creuset de Hesse, à la température de fusion de l'argent, de l'aluminium avec vingt à quarante fois son poids de fluorure double de potassium et de silicium bien sec. On maintient la masse en fusion pendant un quart d'heure, et on laisse refroidir doucement. En brisant le creuset, on trouve dans une gangue blanche ou grisâtre un culot métallique d'un gris de fer foncé; il se compose d'aluminium imprégné d'une grande quantité de silicium cristallin. On concasse le culot sans le réduire en poussière, et on le traite à chaud par l'acide chlorhydrique cencentré jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'hydrogène, ou bien on le refond, et on décante avec soin l'aluminium, le silicium s'étant déposé et accumulé au fond. L'aluminium fluide joue simplement le rôle d'un dissolvant, mais le silicium, en se solidifiant, se sépare entièrement à l'état de cristaux. On chauffe le résidu insoluble dans une capsule en platine avec de l'acide fluorhydrique moyennement concentré, qui en extrait de l'acide silicique; on obtient ainsi une substance cristalline qu'il ne reste plus qu'à laver et à sécher. C'est le sicilium graphitoïde qui se sépare de l'aluminium en se solidifiant, exactement comme le graphite se sépare de la fonte dans de pareilles conditions. Dans diverses expériences, 100 parties en poids d'aluminium ont produit de 70 à 80 parties d'alliage silicifère contenant de 65 à 75 pour 100 de silicium cristallin.

A cet état, le silicium forme des lamelles opaques brillantes, tout à fait semblables au graphite des hauts fourneaux; seulement son éclat est bien plus métallique, et sa couleur tire sur le gris de plomb. On l'obtient quelquefois en tables hexagonales isolées. Il est très-dur, raye le verre, mais n'entame pas la topaze. On peut le chauffer au rouge blanc dans l'oxygène, sans qu'il brûle ou qu'il change de poids. Chauffé au rouge avec du carbonate de potasse, il décompose l'acide carbonique avec un vif dégagement de lumière, en se transformant en acide silicique. Chauffé au rouge naissant dans un

courant de chlore sec, il brûle complétement et se convertit en chlorure de silicium et lorsqu'on le traite pareillement dans un courant de chlore humide, les cristaux de silicium se changent en cristaux pseudomorphes de silice transparente, mais très-friable (1).

Silicium diamant ou octaédrique. — Le silicium se dissout dans le zinc fondu et se sépare pendant la solidification en cristaux octaédriques très-bien formés qui appartiennent au système cubique, et non en plaques hexagonales, comme lorsqu'il est dissous dans l'aluminium. MM. Deville et Caron indiquent le procédé suivant pour extraire ces cristaux : on mélange soigneusement 300 parties en poids de fluorure de potassium et de silicium, 80 parties de sodium coupé en petits fragments et 400 parties de zinc granulé que l'on chauffe à une forte chaleur rouge dans un creuset d'argile couvert jusqu'à ce que le contenu paraisse bien liquide, puis on le laisse refroidir lentement. Il faut mener l'opération aussi vite que possible, afin d'empêcher le creuset de se perforer. Presque tout le silicium se trouve à l'état cristallisé dans la partie supérieure du culot de zinc. On chauffe le culot afin de fondre seulement le zinc, que l'on coule ; le sicilium reste dans le creuset avec du zinc adhérent : le zinc séparé peut servir à une autre opération. On traite le silicium par de l'acide chlorhydrique concentré qui dissout le zinc et tout le fer présent, mais le plomb amené par le zinc restera et ne pourra être séparé que par de l'acide azotique concentré ; le silicium devra être complétement lavé à l'eau. On le traite ensuite par l'acide fluorhydrique, qui le débarrasse de l'oxyde de silicium et de tous les fragments de creuset ; on le lave, on le sèche, et le silicium peut être regardé comme pur. Veut-on le fondre, on le mélange avec du fluorure de potassium et de silicium dans un creuset contenu dans un autre creuset ; on couvre le mélange d'un verre grossière-

(1) *L. u. K. Jahresb.*, p. 155 ; 1859.

ment pilé, exempt de plomb, et l'on chauffe pendant quelque temps à la température de fusion de la fonte. On retire alors le creuset du fourneau, et, quand il a cessé d'être rouge, on le plonge dans l'eau froide afin de rendre le verre plus friable. On brise avec soin le creuset, et les parties qui adhèrent au culot de silicium sont détachées; après quoi, on fait lentement digérer le culot dans l'acide fluorhydrique concentré. Le silicium fondu et cristallisé est attaqué et dissous par un mélange d'acide azotique et d'acide fluorhydrique (1). Un abonné d'un journal de chimie annonce qu'il n'a pu réussir à obtenir du silicium cristallisé par ce procédé. Nous l'avons répété bien des fois, et nous avons toujours obtenu de beaux cristaux. Aucun acide n'agit sur le silicium : nous en avons gardé dans l'acide sulfurique au degré d'ébullition ou à peu près, pendant près de vingt heures, sans apercevoir la moindre attaque. Une solution concentrée de potasse ou de soude le dissout lentement, avec dégagement d'hydrogène. Quand on le projette dans de l'hydrate de potasse fondu dans un creuset d'or, il se produit une action énergique suivie d'une grande effervescence. Une belle expérience consiste à projeter des cristaux de silicium dans un mélange de potasse et de nitre en fusion dans un creuset d'or; il y a incandescence accompagnée de lumière purpurine. à mesure que chaque cristal tombe dans le creuset et disparaît subitement. Si l'on en ajoute un certain nombre à la fois, toute la surface de la masse se couvre d'une flamme pourpre. Le produit est limpide et incolore. Nous n'avons constaté aucune action en le chauffant au rouge dans la vapeur de soufre.

On fait passer de la vapeur de chlorure de silicium sur de l'aluminium chauffé au rouge vif, dans un tube de porcelaine. On se sert du même appareil exactement que celui décrit pour la préparation du silicium amorphe, avec la seule différence que le tube est en porcelaine au lieu d'être en verre, et qu'on

(1) *L. u. K. Jahresb.*, p. 202; 1861.

emploie de l'aluminium à la place de sodium. La vapeur de chlorure de silicium se décompose au contact de l'aluminium, avec dégagement de chaleur et de petites étincelles brillantes qui s'agitent dans le tube. « Il y a là évidemment, dit M. De-« ville, une projection de la matière métallique, difficile à « expliquer sans doute, mais qui rend compte d'un phéno-« mène très-étrange également. Quand on retire les nacelles, « on les trouve remplies exactement de grandes et belles ai-« guilles de silicium disposées dans le tube de telle façon « qu'on pourrait croire que le silicium ou l'aluminium est vo-« latil. Cette apparence n'est explicable que par les projec-« tions de matière qui ont lieu au moment de la réaction. « Ces aiguilles sont irisées souvent d'une manière aussi vive « que le fer oligiste, auquel le silicium ressemble beaucoup « d'ailleurs par sa couleur et sa dureté. Le silicium est gris « de fer foncé, avec un reflet rougeâtre; il raye le verre très-« profondément et même peut le couper à la manière du dia-« mant. »

On supposait d'abord que la forme de ces cristaux était rhomboédrique; mais Senarmont et M. Descloizeaux se sont assurés qu'ils appartenaient au système cubique. M. Descloizeaux a trouvé dans quelques échantillons remis par M. Deville des octaèdres réguliers, presque isolés, que l'on pouvait mesurer. Les cristaux sont superposés de façon à former des groupes singuliers, allongés (1). Leur pointement consiste en trois faces, simulant une des formes les plus communes du système rhomboédrique, sous laquelle le carbonate de chaux et même le quartz se présentent souvent. Les prismes hexagonaux réguliers de ce silicium cristallisé ne sont que des faces du dodécaèdre rhomboïdal développé suivant une loi très-simple; et peut-être que les beaux cristaux à base hexagonale de M. Wohler dépendaient du système régulier ou cubique (2).

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XLVII, p. 169; 1856.
(2) Deville, *Ann. de Chimie et de Phys.*, 3e série, t. XLIX, p. 75.

M. Deville exprime plus loin l'opinion que le silicium cristallisé par fusion et que l'on rencontre souvent sous forme d'une pyramide à six pans, ressemble entièrement aux diamants à faces courbes et doit comme ceux-ci être rapporté au solide à quarante-huit faces qui se dérive de l'octaèdre régulier.

Du chlorure d'aluminium résulte de l'action de l'aluminium sur le chlorure de silicium à une température élevée, et, comme il est à l'état volatil, il se dégage. De même, quand on fait passer du chlorure de carbone sur de la fonte en fusion, la surface métallique se couvre de petites lames hexagonales, brillantes et irisées, avec un éclat bien plus considérable que le graphite artificiel. Quand on fait arriver de la vapeur de chlorure de silicium à du zinc métallique dans un tube de porcelaine chauffé au rouge, elle se décompose avec séparation de cristaux brillants de silicium, et des cristaux de silicium graphitoïde se trouvent répandus dans la masse de zinc qui se condense dans la partie la plus froide du tube (1). L'existence du silicium graphitoïde véritable paraît douteuse après cette remarque (*).

(*) Les contradictions apparentes que l'auteur a relevées dans les travaux de M. Deville, postérieurs à ceux de Berzélius, méritent d'être expliquées en peu de mots.

Des trois formes sous lesquelles le silicium se présente :

1° Le silicium *cristallisé et adamantoïde* est celui que M. Deville a obtenu pour la première fois en faisant passer du chlorure de silicium ou du fluorure de silicium sur de l'aluminium fortement chauffé; il est cristallisé en octaèdres réguliers, comme le diamant, plus dur que le quartz.

2° Le silicium *cristallisé et graphitoïde* est un état particulier du silicium, caractérisé par son éclat, sa forme cristalline évidente, quoique impossible à déterminer, la flexibilité et la mollesse des cristaux, qui sont telles que ces cristaux se froissent sous la moindre pression entre les doigts. Ils salissent le papier à la manière du *graphite,* avec lequel ils ont une ressemblance si grande, que la couleur un peu brune de la trace de silicium peut seule le faire reconnaître à la simple vue. Comme le graphite, le silicium graphitoïde conduit l'électricité. Il s'obtient en traitant par l'acide chlorhydrique de l'aluminium contenant une faible proportion de silicium.

(1) Becketoff, *L u. K. Jahresb.*, p. 196; 1859.

On doit à MM. Buff et Wöhler la découverte de plusieurs composés de silicium d'un grand intérêt scientifique, dont nous donnons la description ci-dessous (1).

HYDROGÈNE SILICIÉ. SiH^2? — Il se dégage en mélange avec une grande quantité d'hydrogène libre, à la surface d'aluminium contenant du silicium servant d'électrode positive dans une solution aqueuse de chlorure de sodium, à travers laquelle on fait passer un courant fourni par 8 ou 12 éléments Bunsen. On l'obtient aussi en dissolvant de l'aluminium silicié dans de l'acide chlorhydrique dilué; mais le gaz ainsi dégagé ne contient pas assez d'hydrogène silicié pour s'enflammer subitement, même lorsqu'on emploie de l'aluminium saturé de silicium; la plus grande partie du silicium se sépare en cristaux lamellaires ou à l'état de poussière noire très-ténue. Il se produit encore de l'hydrogène silicié en petite quantité par l'action de l'acide chlorhydrique sur le manganèse silicié (2). Ce gaz s'enflamme spontanément au contact de l'air, en produisant une vapeur blanche, abondante, due à la formation d'acide silicique. Il a été clairement prouvé qu'en se combinant avec le silicium, l'hydrogène diminue de volume. L'hydrogène

Le silicium graphitoïde obtenu par M. Deville est donc caractérisé par les deux propriétés physiques : l'état cristallin et la mollesse, et se produit dans les mêmes circonstances que le graphite de la fonte.

3° Le silicium *amorphe*, celui de Berzélius, est en tout comparable au charbon ordinaire par sa combustibilité et son état moléculaire. On sait seulement que plus le charbon ordinaire est produit à une haute température, plus il prend l'aspect du graphite. Il en est de même du silicium amorphe. Plus la température à laquelle il a été obtenu est élevée, plus il est dense, moins il est combustible, et enfin plus il a d'éclat sans être cristallisé. Le silicium amorphe et chauffé est au silicium graphitoïde ce que le charbon des cornues à gaz est au graphite de la nature ou au graphite reproduit artificiellement dans nos laboratoires. (*Note des Traducteurs.*)

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LII, p. 257-285 ; 1858.
(2) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XLIV, p. 90; 1858.

silicié est insoluble dans l'eau pure, privée d'air, ainsi que dans l'eau salée. L'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique étendu n'ont aucune action sur lui. Il se décompose à la température ordinaire quand on l'agite avec une solution de potasse caustique. Il détone violemment en présence du chlore gazeux et ne s'altère pas par le mélange avec du protoxyde ou du deutoxyde d'azote. Il se décompose à une chaleur rouge, avec dépôt de silicium amorphe. Il donne lieu à des précipités dans plusieurs solutions métalliques, tels que le sulfate de cuivre, l'azotate d'argent et le chlorure de palladium; mais il est sans action sur les dissolutions d'acétate de plomb et de chlorure de platine. Il produit immédiatement, à la surface d'une dissolution d'un sel de cuivre et sur les surfaces humectées avec cette dissolution, une pellicule de cuivre d'un rouge foncé, qui, vue par transparence en lames minces, apparaît d'un jaune brun. Le siliciure de cuivre ainsi formé se transforme rapidement à l'air en silicate de cuivre couleur citron. Rendu humide par de l'acide azotique dilué, il se décompose immédiatement en déposant du cuivre métallique. L'acide chlorhydrique le dissout avec dégagement d'hydrogène et dépôt d'oxyde de silicium. Dans une solution de potasse caustique, il produit une vive effervescence d'hydrogène, et du cuivre exempt de silicium se précipite. Mais, comme il dégage de l'hydrogène, même avec l'ammoniaque, il semble contenir en mélange de l'oxyde de silicium. L'hydrogène silicié précipite d'une solution de nitrate d'argent une substance noire qui est sans doute du siliciure d'argent, mais il y a un peu d'argent réduit à l'état métallique. Avec une solution de palladium, il se sépare du palladium gris noirâtre, exempt de silicium.

Le meilleur procédé que l'on connaisse actuellement pour préparer l'hydrogène silicié, est celui qu'a découvert le docteur C. Martius, dans le laboratoire de M. Wöhler; M. Martius a remarqué qu'en traitant par l'acide chlorhydrique la scorie produite dans la fabrication du magnésium par la méthode Deville,

il se dégageait spontanément du gaz inflammable (1). On l'obtient par le procédé suivant, aussi facilement que l'hydrogène phosphoré : On réduit en poussière fine dans un mortier chaud et on mélange bien intimement 30 grammes de chlorure de magnésium fondu, 40 grammes de fluorure de sodium et de silicium (fluosilicate de soude) bien séché et 10 grammes de chlorure de sodium fondu. On met le mélange dans un vase de verre chauffé, que l'on peut fermer, et l'on y ajoute 20 grammes de sodium coupé en fragments aussi petits que possible, que l'on agite avec la poudre, puis on projette d'un coup le contenu du vase dans un creuset de Hesse que l'on a préalablement porté au rouge. On couvre le creuset et on continue à chauffer un peu; la réaction s'opère spontanément par des petillements successifs. Aussitôt que le bruit a cessé et que les flammes du sodium ne sont plus visibles au-dessus du couvercle, on retire le creuset du feu, on le laisse refroidir et on le brise. La masse fondue est d'un gris noirâtre, remplie de globules et de lamelles d'un éclat métallique et d'une couleur gris de fer foncé; elle contient, outre le silicium, un siliciure de magnésium de la formule Mg^2Si, composé de 47.1 pour 100 de silicium et de 52.9 pour 100 de magnésium. Réduite en poudre grossière, on la met dans un flacon à deux tubulures, dont l'une est munie d'un tube à entonnoir plongeant jusqu'au fond du flacon, et l'autre d'un tube de dégagement court, mais de gros diamètre. On remplit d'eau l'appareil, puis on le place sur la cuve pneumatique, au-dessus du niveau, de façon que le tube abducteur puisse être plein d'eau et qu'il ne reste pas une bulle d'air dans l'appareil. Après avoir renversé une cloche pleine d'eau au-dessus de l'embouchure du tube de dégagement, on verse de l'acide chlorhydrique concentré par le tube à entonnoir, en ayant soin qu'il n'entre pas une bulle d'air dans le flacon. Le gaz se dégage

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. LIV, p. 218; 1858.

en abondance, avec une grande violence, en produisant une écume considérable qui passe dans la cloche, mais qui se dépose peu de temps après; en transvasant le gaz sous une autre cloche on l'obtient sans écume. On ne devra employer que de l'eau privée d'air par l'ébullition; car avec de l'eau aérée, le gaz devient nuageux et perd bientôt la propriété de s'enflammer spontanément. On obtient du gaz sec en le faisant passer à travers un tube de chlorure de calcium, dans une cloche sur la cuve à mercure.

Quand on le prépare ainsi, chaque bulle de gaz s'enflamme dans l'air, en faisant entendre une explosion sourde, suivie d'une fumée blanche. L'acide silicique résultant de la combustion produit exactement, comme dans la combustion de l'hydrogène phosphoré, de belles couronnes blanches qui se répandent dans l'air sous forme de filaments et de flocons; elles sont parfois colorées en brun par le silicium non brûlé. Si le gaz s'échappe librement dans l'air au sortir du tube abducteur, il produit une flamme abondante d'un blanc très-éclatant.

HYDROCHLORATE DE CHLORURE DE SILICIUM OU SOUS-CHLORURE. $Si^2Cl^3 + 2HCl$. — C'est un liquide volatil, très-peu stable, que l'on obtient en chauffant du silicium cristallisé au rouge naissant dans du gaz acide chlorhydrique sec. L'eau le décompose avec formation d'un oxyde blanc de silicium; aussi produit-il à l'air des fumées abondantes qui recouvrent les objets environnants d'un dépôt blanc. Il exhale une odeur suffocante. Il bout à 42° C. et sa densité est 1.65. Il n'est pas conducteur de l'électricité. Sa vapeur est aussi inflammable que celle de l'éther et elle brûle avec une flamme verdâtre peu lumineuse, en répandant des vapeurs de silice et d'acide chlorhydrique. Cette vapeur se décompose très-facilement au rouge avec séparation de silicium amorphe qui se dépose sur la surface interne du tube où l'on fait l'expérience, comme le tain d'un

miroir; il se dégage encore du chlorure de silicium ($SiCl^3$) et de l'acide chlorhydrique. L'alcool et l'éther absorbent en grande quantité ce composé, sans qu'il se sépare de l'oxyde de silicium.

On a préparé des composés analogues avec le brôme et l'iode ($Si^2Br^3 + 2HBr$ et $Si^2I^3 + 2HI$). Le composé de brôme est un liquide fumant incolore; le composé d'iode est solide, cassant, rouge foncé et fume beaucoup au contact de l'air; il est très-fusible et cristallise par le refroidissement; à une température plus élevée, il bout et peut être distillé. L'eau, qui le colore instantanément en vermillon, le décompose lentement. Il est très-soluble dans le bisulfure de carbone.

Oxyde hydraté de silicium $Si^2O^3 + 2HO$. — C'est ce composé qui se produit dans les circonstances déjà décrites. On le prépare aisément en faisant passer simultanément dans l'eau un excès d'acide chlorhydrique gazeux et d'hydrogène saturé du composé $Si^2Cl^3 + 2HCl$. L'eau devra être maintenue à 0° C., parce qu'à la température ordinaire l'oxyde commence à se décomposer au contact de ce liquide. On lave l'oxyde sur un filtre avec de l'eau à 0° C., on le presse d'abord doucement, puis plus fortement entre du papier buvard, enfin, on le sèche à la température ordinaire, ou de préférence sur de l'acide sulfurique.

Ainsi préparé, il est amorphe, d'un blanc de neige, très-léger, volumineux et plus léger que l'eau; il se dépose dans l'éther. Les alcalis caustiques, les carbonates alcalins et même l'ammoniaque le transforment en silicate alcalin avec une vive effervescence causée par le dégagement d'hydrogène. Les acides, même l'acide azotique concentré, n'exercent pas d'action sur lui, à l'exception toutefois de l'acide fluorhydrique, qui seul le dissout avec dégagement abondant d'hydrogène. On peut le chauffer à 300° C. sans qu'il se déshydrate ou qu'il éprouve le moindre changement. Il s'enflamme quand il est

chauffé davantage et lance des étincelles en répandant une lueur phosphorescente, tandis que l'hydrogène brûle en même temps avec explosion. Dans l'oxygène, il brûle en produisant de la chaleur et une vive lumière. Il brûle également lorsqu'on le chauffe dans un creuset ouvert, mais la silice résultant de la combustion est plus ou moins colorée en brun par le silicium amorphe, et les parois du vase sont revêtues de silice. En chauffant l'oxyde hydraté de silicium, l'hydrogène silicié se dégage facilement, mais seulement à la température à laquelle ce gaz se décompose lui-même. Si on opère dans un tube ouvert, il s'échappe dans l'air un gaz fumant qui ne s'enflamme pas spontanément, à cause de l'hydrogène qui s'y trouve mêlé; mais en l'allumant, il brûle en laissant un résidu de silice colorée en brun par le silicium. L'oxyde hydraté chauffé au rouge dans un courant d'hydrogène abandonne du silicium à l'état de dépôt métallique, et le gaz allumé brûle en abandonnant une masse de silice sur une plaque de verre tenue dans la flamme. L'équation suivante explique la réaction :

$$3(Si^2O^3 + 2HO) = 5SiO^3 + 5H + SiH.$$

L'oxyde hydraté de silicium est légèrement soluble dans l'eau. Le liquide acide séparé par le filtre dans la préparation de l'oxyde éprouve ensuite une sorte de fermentation; il se remplit de bulles d'hydrogène qui s'élèvent à la surface et s'échappent peu à peu en quantité telle, que, lorsqu'on place le liquide dans un récipient couvert, le couvercle se soulève; cette décomposition est favorisée par la chaleur. L'ammoniaque ajoutée à cette solution détermine immédiatement un dégagement abondant d'hydrogène. La solution d'oxyde de silicium réduit le chlorure d'or; elle précipite d'une dissolution de chlorure de palladium une poussière noire, qui est probablement un mélange du métal et de protosilicate de palladium. Avec l'azotate d'argent, l'oxyde détermine d'abord un précipité de chlorure d'argent, puis un précipité brun foncé, sans

doute identique, bien que moins foncé en couleur que la matière obtenue en traitant de l'oxyde d'argent lavé par une dissolution d'azotate d'argent; l'ammoniaque fait virer immédiatement cette couleur au noir. On regarde cette matière noire comme du silicate de protoxyde d'argent; elle est insoluble dans l'ammoniaque et difficilement décomposée par l'acide azotique avec séparation de silice; elle devient grise en la calcinant, et si on la chauffe après calcination avec de l'acide azotique, elle se change en silicate d'oxyde d'argent d'un jaune brûn, qui n'est plus attaqué par le même acide, même bouillant. Avec du borax, elle produit au chalumeau une perle jaune avec reflets bleuâtres. Lorsqu'on mêle le liquide acide filtré qui contient de l'oxyde de silicium, avec du sel de protoxyde de cuivre et qu'on ajoute ensuite un peu d'alcali, il se précipite du bioxyde de cuivre hydraté jaune. Dans les dissolutions d'acide sélénieux et tellureux dans l'acide chlorhydrique, il sépare du sélénium rouge et du tellure gris. Dans une solution de chlorure de mercure, il précipite du bichlorure cristallin et chatoyant, qui, laissé en contact avec un excès de la solution, passe peu à peu à l'état de métal gris pulvérulent. Mélangé avec l'acide sulfureux, il le trouble en donnant naissance à un dépôt de soufre blanc. Il décolore instantanément une solution de permanganate de potasse; mais il n'agit pas sur les dissolutions d'acide chromique, de platine, d'iridium et d'indigo.

MM. Büff et Wöhler ont obtenu des preuves certaines de l'existence d'un oxyde de silicium ayant probablement pour formule $Si^2O^4 + 3HO$, ou $SiO + Si^2O^3 + 3HO$; quelques échantillons d'oxyde hydraté contenant plus de silicium qu'il n'en fallait pour la formule $Si^2O^3 + 3HO$, ils ont attribué l'action réductrice indiquée à la solution d'un oxyde minimum.

Silicium et azote. — D'après MM. Wöhler et Deville, le silicium, comme le bore et le titane, se combine avec l'azote à

une température très-élevée. On dispose un petit creuset de Hesse contenant du silicium cristallisé, dans un creuset ordinaire plus grand et bien couvert, et on remplit l'espace intermédiaire de poussier de charbon de bois récemment carbonisé. On soumet le tout pendant une heure à la température la plus élevée d'un foyer à coke. La plus grande partie du silicium se convertit en une masse bleuâtre, désagrégée, recouverte d'une substance fibreuse facilement séparable et qui ressemble au minéral désigné sous le nom de *liége de montagne;* elle est blanche, sauf à la surface, où elle est revêtue de cristaux microscopiques d'une couleur de tombac foncée, dont la nature n'a pas été reconnue. La substance blanche et la masse bleuâtre dégagent beaucoup d'ammoniaque par l'attaque à la potasse fondue. La masse bleuâtre contient de l'azoture de silicium mélangé avec du silicium libre; ce dernier peut se séparer en chauffant au rouge dans un courant de chlore qui n'a pas d'action, à cette température, sur l'azoture de silicium ni sur le bore. Chauffé à une forte chaleur rouge dans un courant de gaz acide carbonique humide, l'azoture de silicium laisse dégager du carbonate d'ammoniaque et il reste de la silice amorphe; cette décomposition est complète, quoiqu'elle s'opère lentement. De l'azoture de silicium préparé à l'aide du chlorure de silicium décompose graduellement l'eau à la température ordinaire : MM. Wöhler et Deville pensent que l'azoture de silicium a peut-être joué un rôle important dans la formation de la croûte terrestre et que l'eau a pu le convertir en silice et en ammoniaque (1).

MANGANÈSE ET SILICIUM.

M. Brunner a le premier décrit les propriétés du manganèse provenant du fluorure ou du chlorure réduit par le sodium. Il

(1) *L. u. k. Jahresb.*, p. 154; 1859.

a constaté que le métal différait beaucoup de celui de l'oxyde de manganèse réduit par le carbone, qui tombe en poussière quand il est à l'air et décompose l'eau aux températures ordinaires. Il fond à la température de fusion de la fonte; il est très-dur, susceptible de recevoir un poli aussi brillant que celui de l'acier et ne se ternissant pas à l'air. Le métal renfermait du silicium, dont la proportion, dans douze essais différents, variait de 0.6 à 6.4 pour 100. En ajoutant du fluorure de potassium et de silicium et de la silice, il trouva un métal contenant 10 pour 100 de silicium. M. Wöhler examina les échantillons préparés par M. Brunner, et confirma l'exactitude de ses observations. Il a publié les résultats suivants de ses expériences : On presse fortement dans un creuset d'argile parfaitement sec un mélange de fluorure de manganèse, de silicate de potasse, de cryolithe ($3NaFl + Al^2Fl^3$) et de sodium en quantités presque égales, puis on le recouvre d'une couche de chlorure de potassium ou de sodium. On chauffe le creuset dans un bon fourneau à vent et dès que la réduction s'est opérée, on donne un coup de feu. Il se forme ainsi un culot de métal très-dur, cassant et d'une structure un peu feuilletée; on n'y remarque aucune trace de silicium libre. Le métal contient 11.7 pour 100 de silicium; il se dissout difficilement dans l'acide chlorhydrique, parce que chaque fragment se revêt d'une couche grisâtre d'oxyde de silicium qui empêche l'action de l'acide; il est nécessaire, pour enlever cette couche, de recourir à une dissolution de potasse caustique. Cet oxyde est parfaitement amorphe, beaucoup plus dense que celui provenant du manganèse et plus pauvre en silicium ou en chlorure de silicium; au microscope, il ne montre aucun indice de cristallisation. L'hydrogène qui s'en dégage par l'attaque à l'acide chlorhydrique renferme de l'hydrogène silicié, mais en trop petite quantité pour le rendre spontanément inflammable. L'acide fluorhydrique dissout le siliciure de manganèse avec dégagement d'hydrogène très-fétide.

Un autre échantillon, préparé en calcinant un mélange d'un chlorure double de sodium et de manganèse avec du spath fluor, du silicate de potasse et du sodium, contenait 13 pour 100 de silicium. Le métal était bien fondu, très-fragile et présentait quelques fissures tapissées de cristaux prismatiques, de couleur d'acier. On répéta l'expérience avec un mélange de chlorure de manganèse fondu, du spath fluor, du fluorure de potassium et de silicium (fluosilicate de potasse) et du sodium. Le culot rapidement refroidi était presque aussi blanc que de l'argent et très-fragile ; sa cassure était conchoïde et très-éclatante. M. Wöhler croit que ces deux dernières propriétés peuvent résulter du refroidissement trop rapide du métal; il contenait seulement 6.48 pour 100 de silicium. On fit un dernier essai en fondant un mélange de chlorure de manganèse, de sodium, de sable fin et de cryolithe ; ces deux dernières substances étaient dans le rapport de 22 : 26. Le culot, légèrement jaunâtre, manifestait quelques indices de structure cristalline et contenait 11.37 pour 100 de silicium (1). Deux expériences sur une plus grande échelle furent renouvelées à une température plus continue et plus élevée que précédemment, avec du chlorure double de sodium et de manganèse, du fluorure de potassium et de silicium et du sodium *sans* spath fluor ; mais on ne trouva pas de traces de métal, bien que la réduction, accompagnée d'un bruit violent au début de l'opération, parût complète. Selon M. Wöhler, il résulterait de ces essais que le manganèse, d'abord réduit, agit à son tour, à cette température plus élevée, sur le chlorure de sodium, en formant du chlorure de manganèse et en mettant le sodium en liberté, tandis qu'il ne peut pas décomposer le fluorure de sodium formé quand on emploie le fluorure de manganèse. M. Brunner voulut déterminer si les propriétés particulières du manganèse qu'il avait obtenu étaient dues à la

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LIV, p. 90; 1858. Voir aussi le même ouvrage, t. LIII, p. 359.

présence du silicium, car il pouvait croire à quelque erreur par suite de l'emploi de creusets d'argile. En fondant le manganèse en poudre grossière, avec du chlorure de sodium et 1 pour 100 de chlorate de potasse, et en maintenant le tout en fusion au rouge blanc pendant dix minutes seulement, il parvint à diminuer la quantité de silicium d'environ 0.1 pour 100. Si le silicium est cause des propriétés du manganèse produit par cette méthode de réduction, c'est un fait très-remarquable et d'une grande valeur pratique, surtout pour la métallurgie du fer. Sefstrom a préparé du manganèse contenant de 8 à 10 pour 100 de silicium, en réduisant de l'oxyde de manganèse mélangé avec de la silice et du carbone; il représente le métal comme étant de couleur gris d'acier et insoluble même dans de l'acide nitro-chlorhydrique (1).

FER ET SILICIUM.

Jusqu'ici le siliciure de fer pur n'a pas été étudié : tous les composés de silicium et de fer que nous avons eu l'occasion d'examiner, ont été formés par l'action réductrice du carbone, sans pouvoir être débarrassés de cet élément. Lorsque de la silice mélangée avec du fer et du carbone est soumise à une température élevée, elle se réduit plus ou moins; le silicium se combine avec le fer; mais d'après nos expériences, il n'y a pas réduction quand de la silice et du fer sont chauffés sans carbone, même aux températures les plus élevées de nos fourneaux. Nous ignorons si du siliciure pur a été obtenu en chauffant ensemble directement du silicium et du fer métallique, bien que l'on obtienne facilement du siliciure de cuivre par ce procédé, en substituant du cuivre au fer; nous avons essayé, mais en vain, de le préparer en chauffant fortement du fluorure de potassium et du silicium avec du sodium et du fer très-

(1) Berzélius, *Traité*, t. II, p. 780.

finement divisé, provenant de la réduction du sesquioxyde par l'hydrogène. Nous n'avons pas mieux réussi en faisant passer du gaz acide hydro-fluosilicique sec sur du fil de fer, dans un tube de porcelaine, chauffé bien au-dessus du rouge; ni en cherchant à réduire du silicate tribasique de protoxyde de fer par du sodium à une température élevée (*).

(*) M. H. Hahn a cherché également à préparer le siliciure de fer pur en recourant au fluosilicate de sodium. Des mélanges composés de ce sel, de fer réduit, de zinc et de fluorure de calcium n'ont pas donné de résultat favorable. En remplaçant le fer réduit par de l'acier fondu et en employant les proportions suivantes, M. Hahn a obtenu un culot métallique ayant des propriétés qui le rapprochent du siliciure de manganèse de M. Wöhler :

60	grammes	fluosilicate de sodium.
20	—	sodium.
22	—	acier fondu.
60	—	zinc mélangé de chlorure de sodium.

La masse métallique provenant de la fusion de ce mélange était magnétique et d'une pesanteur spécifique de 7.018; inattaquable par l'acide chlorhydrique, elle a été traitée au rouge par le chlore gazeux. Les chlorures ferrique et silicique ont été condensés dans de l'eau, ce qui a permis de doser le silicium à l'état d'acide silicique; enfin, le résidu brûlé dans l'oxygène a fourni de l'acide carbonique et encore une petite quantité d'acide silicique :

Si provenant de $SiCl^2$.	9.895	10.93
Si dans le résidu.	0.198	
C.		0.88

Par la fusion d'un mélange de chlorure double de fer et de sodium (calcination de 40 grammes de fer réduit, 150 grammes de sel ammoniac, 80 grammes de chlorure de sodium), de 5 grammes de silicium et 25 grammes de sodium avec du fluorure de calcium, on obtient un régule de 25 grammes, d'aspect cristallin et ayant 6,611 de densité à 23°, soluble dans l'acide chlorhydrique lorsqu'il est pulvérisé; le gaz fourni par la dissolution dans l'acide chlorhydrique contient du silicium.

L'analyse lui assigne la composition suivante :

	1.	2.	Calcul pour Fe^2Si.
Résidu. . . .	1,0	»	»
Si..	20.1	20.3	20.27
Fe.	79.2	79.7	79.73
	100.3	100.0	100.00

Ce produit, traité par l'acide fluorhydrique affaibli, en ayant soin d'éviter

Lorsque du silicate de protoxyde de fer est réduit en grand dans les hauts fourneaux, il ne produit pas, à proprement parler, du fer siliceux. Ainsi, M. Riley, chimiste de Dowlais, n'aurait trouvé que 1.07 pour 100 de silicium dans de la fonte provenant exclusivement de « scories d'affinage » (qui sont un silicate de protoxyde de fer), mélangées avec un peu de schiste.

Nous n'avons pas éprouvé de difficulté à produire du fer très-silicifère en chauffant à blanc de la silice en contact avec du fer métallique, ou du sesquioxyde de fer avec du charbon en excès.

Réduction de la silice par le charbon en présence d'oxyde de fer et d'autres bases. — Ce sujet, d'un grand intérêt pratique, a été récemment l'objet de recherches de laboratoire et d'essais industriels. Il paraît bien établi que la silice libre ou non accompagnée de matières terreuses avec lesquelles elle pourrait se combiner pour former des scories, telles que le carbonate de chaux et l'argile, tend à donner du fer riche en silicium, surtout si la température est très-élevée et s'il y a beaucoup de charbon présent.

M. Hochstätter a fait à cette occasion, dans notre laboratoire, les deux expériences suivantes : Il a exposé pendant une heure et demie dans un creuset d'argile couvert une variété d'hématite rouge, pure, en rognons (*kidney ore*), contenant en moyenne 69 pour 100 de fer, en mélange intime avec du sable fin et du charbon de bois à une température élevée.

Le produit était une masse frittée, parsemée de petits glo-

toute élévation de température, abandonne un résidu cristallin, soyeux, inattaquable par les acides fluorhydrique et sulfurique concentrés et à chaud, ainsi que par l'oxygène à la chaleur rouge. Ce résidu a pour composition :

		Rapports atomiques.
Si	29.8	2.09
Fe	20.3	1.05

M. Hahn aurait enfin obtenu comme mélange de ces deux siliciures Fe^2Si et $FeSi$, un produit métallique dont le calcul rapporterait la formule à Si^9Fe^{10} (*Ann. der Chem. und Pharm.*, t. CXXIX, p. 57.) (*Note des Traducteurs.*)

bules métalliques, brillants, et comme ceux-ci étaient magnétiques, on les sépara, avec un barreau aimanté, du sable adhérent et du charbon, puis on les fit fondre en ajoutant un peu d'alumine et de magnésie. Les culots bien fondus étaient recouverts d'une scorie également bien fondue, qu'on pouvait facilement détacher. Le métal était dur et fragile ; sa cassure, d'un gris clair, très-cristalline, présentait une série de facettes brillantes, de sorte qu'en faisant varier la direction de la lumière sous différents angles, chaque partie brillait successivement, quoique dans toutes les positions la cassure parût consister, en proportions égales, de grains ternes et grisâtres. Par l'attaque à l'acide chlorhydrique bouillant, il s'en dégageait de l'hydrogène qui ne produisait aucun dépôt dans un tube de verre résistant, chauffé au rouge, bien que le courant le traversât pendant une demi-heure. Cet acide ne put décomposer complétement la poussière des culots.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	POIDS DES MATIÈRES EN GRAMMES.			POIDS DU CULOT métallique en grammes.	POIDS spécifique du culot.	SILICIUM pour 100.
	Hématite.	Sable.	Charbon.			
1	129.54	149,62	58,29	62,25	6.94	12.26 (1)
2	388,64	259,10	174,89	125,98	7.23	8.06

(1) La silice n'était pas parfaitement pure; elle contenait un peu d'oxyde de fer.

Le culot n° 2 était de couleur plus claire et de cassure plus brillante que le n° 1. Dans le n° 1 on se servit d'acide nitro-chlorhydrique pour déterminer le silicium, et dans le n° 2 la poussière fut fondue dans un creuset de platine avec un mélange composé de 1 partie de chlorate de potasse, et de 4 parties de carbonates de potasse et de soude mélangés. L'hydrogène mis en liberté par l'attaque à l'acide chlorhydrique du métal des deux essais, avait l'odeur spéciale que l'on attribue généralement, dans les variétés ordinaires de fer ainsi traitées, à la présence du carbone.

Les essais suivants (1) ont été faits dans notre laboratoire sur de l'hématite compacte, dure et rouge, contenant beaucoup de quartz très-finement divisé. Après digestion dans l'acide chlorhydrique, ce minerai abandonna 13.49 pour 100 de résidu insoluble, dont 12.76 pour 100 consistait en silice.

N° 1. Chauffé en mélange avec assez de charbon pour le réduire, il donna du métal renfermant 0.87 pour 100 de silicium.

N° 2. Le même minerai, chauffé en mélange avec un excès considérable de charbon, produisit du métal contenant 13.78 pour 100 de silicium. Dans ces deux expériences, les creusets étaient à une température très-élevée. Dans une troisième expérience, on chauffa le minerai avec du charbon et du sable en excès ; le culot contenait 8.84 pour 100 de silicium.

Ce minerai siliceux fut réduit par le charbon en présence de diverses matières. Dans chaque essai, on employa 1000 grains (64gr,77) de minerai, et l'on mélangea intimement tous les ingrédients en les triturant dans un mortier. Les nombres représentent des grains (*).

N° 3. Charbon de bois, 250 ; chaux, 100 ; spath fluor, 250. Le métal contenait 1.41 pour 100 de silicium.

N° 4. Charbon de bois, 250 ; spath fluor, 150. Le métal contenait 2.15 pour 100 de silicium.

N° 5. Charbon de bois, 250 ; chaux, 400 ; argile, 190 ; sable, 110. La composition pour 100 de la scorie était : chaux, 51 ; alumine, 10 ; silice, 39. Le métal contenait 0.64 pour 100 de silicium.

N° 6. Charbon de bois, 250 ; chaux, 300 ; argile, 190 ; sable, 190. La composition pour 100 de la scorie était de : chaux, 52.4 ; alumine, 13.3 ; silice, 34.3. Le métal contenait 0.58

(*) Ces nombres étant exprimés par rapport à 1000, il est inutile de les traduire en grammes.

(1) M. Smith a fait les essais, et M. W. Weston, les dosages quantitatifs

pour 100 de silicium. Les scories résultant de ces mélanges s'approchaient par leur composition des laitiers des hauts fourneaux d'Angleterre.

N° 7. Charbon de bois, 350; chaux, 125; argile, 190; sable, 260. Le métal était de « la fonte blanche, » et contenait 0.85 pour 100 de silicium. La réduction n'avait pas été complète.

N° 8. Charbon, 250; chaux, 125; argile, 190; sable, 260. La composition pour 100 de la scorie était : chaux, 19; alumine, 11.5; silice, 69.5. Le métal contenait 0.38 pour 100 de silicium.

N° 9. Charbon, 250; chaux, 125; argile, 190; sable, 400. On ajouta du charbon de bois au-dessus du mélange. La scorie était verte et le métal contenait 1.15 pour 100 de silicium.

On opéra sur une autre variété d'hématite rouge, onctueuse au toucher; elle contenait 6.36 pour 100 de matière insoluble dans l'acide chlorhydrique, renfermant seulement 1.57 de silice.

N° 10. Ce minerai, chauffé avec excès de charbon de bois, donna du métal contenant 1.66 pour 100 de silicium.

N° 11. Avec ce même minerai, mélangé de sable fin, et chauffé avec excès de charbon, le métal contenait 5.15 pour 100 de silicium.

Le minerai siliceux de ces expériences, traité au haut fourneau, rendait de la fonte tenant 4.2 pour 100 de silicium.

Il convient de se rappeler que dans les expériences en petit dont les résultats viennent d'être rapportés, les matières ajoutées avaient été intimement mélangées avec le minerai ; mais il n'est pas possible de réaliser économiquement cette condition dans l'industrie, excepté peut-être dans quelques cas exceptionnels, comme, par exemple, lorsqu'on laisse déposer et solidifier le minerai lavé, de façon à le mettre en briquettes que l'on sèche et que l'on brûle; on traite ainsi le minerai de la mine Cornelia, près Stolberg. C'est une hématite brune, terreuse, qui consiste en petits fragments com-

pactes, angulaires, dont les dimensions varient entre celle d'une noisette et celle d'un pois et en une masse pulvérulente ; la présence de la poussière rend le minerai impropre à la fonte (1).

Les caractères physiques des autres siliciures de fer que nous avons examinés et qui renferment du carbone, sont les suivants :

Avec 13.78 pour 100 de silicium, le culot de l'essai n° 2 ci-dessus relaté, avait l'aspect d'un gâteau de miel à la surface supérieure ; les cellules contenaient des paillettes brillantes comme de graphite. Il était dur et se rompait facilement en travers. La surface de cassure offrait plusieurs cavités, surtout vers le fond, tapissées de lamelles graphiteuses brillantes. Les autres parties de la cassure étaient esquilleuses, cristallines, éclatantes, et d'une teinte gris de fer jaunâtre qui contrastait vivement avec la portion graphitique.

Avec 8.84 pour 100 de silicium, le culot dans une autre expérience sous le n° 2, était tout à fait lisse à la surface supérieure, qui était convexe et arrondie sur les bords. Il était dur et se cassait facilement en deux ; la surface de cassure ne montrait aucune cavité. Il était cristallin, d'éclat un peu terne, et d'un gris jaune foncé.

Avec 5.15 pour 100 de silicium, le culot de l'essai n° 11 était bien fondu, convexe à la surface supérieure et arrondi sur les bords ; il était dur et fragile ; la cassure était inégale, grenue, d'un gris foncé et sans nul éclat. »

Il est digne de remarque que des culots de caractères aussi variés aient été obtenus dans des conditions si peu différentes.

La fonte, qui contient 3 pour 100 de silicium, a invariablement une surface unie, tandis que celle à l'air froid et contenant de 1 à 2 pour 100 de silicium « une surface rayonnée ou ruchée. » Nous basons ces assertions sur l'autorité de M. Parry.

(1) *Catalogue officiel des produits miniers et métallurgiques*, 1re classe, département du Zollverein à l'Exposition internationale de 1862, p. 56 ; nos 621 et 622.

Un échantillon contenant 7.46 pour 100 de silicium nous a été remis par M. E. Riley : cette fonte avait été préparée il y a plusieurs années, aux forges de Dowlais, avec du *black band* très-pauvre, sans qu'il pût nous dire si c'était à l'air froid ou à l'air chaud. Fondue, elle était très-liquide ; à l'état solide, elle était dure et fragile ; sa cassure était grenue et imparfaitement cristalline ; d'un gris clair, teinté de jaune, on pouvait la confondre, par son éclat et sa texture, avec du métal de cloche.

Un échantillon renfermant 8.2 pour 100 de silicium nous a été également confié par notre ami, M. Abel, de l'arsenal de Woolwich. La cassure en est cristalline, un peu lamelleuse, avec des clivages nettement accusés sous divers angles, de sorte qu'en retournant le morceau sur lui-même, les plans sont tour à tour visibles ; ils sont ternes et à grain fin ; la couleur pour de la fonte était gris clair.

Il contenait pour 100 :

Carbone, entièrement à l'état de graphite.	2.63
Silicium.	8.20
Phosphore.	0.70
Soufre.	0.02
Manganèse.	0.02

Berzélius affirme avoir analysé un échantillon de siliciure de fer, donnant par sa dissolution dans l'acide chlorhydrique, 19 pour 100 de silice ; il était très-doux, et se forgeait à froid en plaques minces. Ces observations ne concordent pas avec les nôtres. Le même chimiste fait remarquer encore que le siliciure de fer ne s'altère pas à l'air, pourvu que le silicium n'excède pas 5 ou 6 pour 100 (1).

Siliciure de fer chauffé avec du phosphure de fer. — M. Hochstatter a fait dans notre laboratoire l'expérience suivante : il a mélangé par trituration 14^{gr}.25 de siliciure de fer, contenant 8^{gr}.96 pour 100 de silicium avec 9.26 de phosphure de

(1) *Traité*, t. II, p. 704.

fer renfermant 12.66 pour 100 de phosphore. Le mélange fut chauffé pendant une heure à une chaleur blanche dans un creuset d'argile couvert, placé dans un autre creuset. Le culot bien fondu, pesait 23gr.06 et était recouvert d'un peu de scorie; il était très-dur, très-fragile et très-magnétique. Sa cassure était très-cristalline, mais les plans de clivage étaient inégaux, à grain fin et sans éclat; sa couleur était d'un blanc grisâtre clair. La poussière du culot, mise à digérer avec de l'acide chlorhydrique à chaud, laissait dégager de l'hydrogène dont l'odeur rappelait celle de l'hydrogène du fer ordinaire et nullement celle de l'hydrogène phosphoré. En analysant le métal, on a constaté qu'il contenait 5.57 pour 100 de silicium, et 4.50 de phosphore. Si du phosphore n'avait pas été expulsé, il aurait dû en contenir 5 pour 100.

Siliciure de fer chauffé avec du protosulfure de fer. — L'essai suivant est dû à M. Hochstätter : il mêla intimement par trituration 12gr.95 de protosulfure de fer contenant 60.63 pour 100 de fer avec 12gr.95 de siliciure de fer renfermant 8.96 pour 100 de silicium. Le mélange fut chauffé au blanc pendant une heure, dans un creuset d'argile couvert. Le produit pesait 25gr.26, et consistait en deux couches distinctes : la couche inférieure ressemblait sous tous les rapports au siliciure primitif, pesait 10gr.36 et ne tenait qu'un peu de soufre; celle du dessus ressemblait en tous points au sulfure de fer, pesait 14gr.90, et était parsemée de globules de siliciure. D'où l'on peut conclure que du sulfure et du siliciure de fer n'ont pas d'action l'un sur l'autre à une température élevée.

Protoxyde de fer et silice. — Ils se combinent facilement à une température voisine du rouge blanc, et forment, dans de certaines proportions, des composés très-fusibles et très-fluides quand ils sont fondus. Les essais de Berthier à ce sujet sont relatés dans le tableau des silicates du premier volume de la *Métallurgie*. Il est essentiel, en vue de la fonte

et de la fabrication du fer, d'étudier ces silicates avec beaucoup de soin. On ne peut pas employer de creusets de terre pour les préparer, car ils sont corrodés rapidement par l'oxyde de fer ainsi que par les silicates.

M. Richardson, notre élève, a fait les expériences suivantes dans notre laboratoire:

Les silicates avaient été préparés en chauffant fortement des mélanges intimes de silice à l'état de sable blanc, avec de l'hématite rouge la plus pure et de la poudre d'anthracite en proportion suffisante pour réduire celle-ci en protoxyde. On employa des creusets de fer forgé renfermés dans des creusets de graphite couverts.

FeO, SiO^3.

	Rapport du mélange pour produire 100 de silicate.
Hématite	47.1
Silice	57.5
Anthracite	6.0

La température était voisine de la chaleur blanche, car le creuset de fer brûlait avec étincelles quand on le retira du fourneau. Le produit très-épais se figea promptement, de sorte qu'en le versant dans une lingotière de fer, il en restait beaucoup d'adhérent au creuset. A l'état solide, il était très-vésiculaire, d'un brun olive foncé, opaque, fragile, vitreux et à cassure inégale; la poussière était d'un gris brunâtre et insensible à l'aimant. Il se décomposait complétement après digestion dans l'acide chlorhydrique, avec séparation de silice gélatineuse, qui se dissolvait sans résidu dans une dissolution bouillante de carbonate de soude. Il contenait 33 pour 100 de fer, le total théorique étant 33.05 pour 100 (SiO^3=46). L'expérience répétée donna exactement les mêmes résultats.

$3FeO, SiO^3$.

	Poids en grammes.	Rapport du mélange pour produire 100 de silicate.
Hématite	155.45	78.1
Silice	58.29	29.8
Anthracite	11.66	6.0

Le produit très-fluide se déversait facilement et complétement hors du creuset; il exigea beaucoup de temps pour bien se solidifier. Il pesait 198^{gr}.85, ce qui indiquait un excès de 4^{gr}.53 provenant du creuset en fer. D'un éclat presque métallique, il était fragile, très-cristallin, et dans la cassure on découvrait à la partie supérieure plusieurs cavités, contenant de beaux cristaux de fer couleur olive, analogues à ceux qui se produisent dans la conversion de la fonte en fer malléable. La cassure de la portion compacte du fond du culot était très-cristalline, avec des plans de clivage disposés perpendiculairement à la surface extérieure. La poussière de ce silicate était noire et tout à fait insensible à l'aimant; elle se décomposait complétement par digestion dans l'acide chlorhydrique, en produisant de la silice gélatineuse, soluble sans résidu dans une solution bouillante de carbonate de soude. Le silicate contenait 54 pour 100 de fer, la quantité théorique étant de 54.50 pour 100. On recommença cette expérience plusieurs fois avec les mêmes résultats. Dans l'essai suivant on omit l'anthracite.

	Poids en grammes.	Rapport du mélange pour 100 de silicate.
Hématite.	51.82	78.1
Silice.	18.78	29.8

Le produit ressemblait sous tous les rapports à ceux des expériences précédentes, mais il pesait 89^{gr}.64, soit un excès de 24^{gr}.87 provenant du creuset qui s'était fortement corrodé au contact du silicate. Le fer ainsi enlevé s'était sans doute oxydé aux dépens de l'oxygène du sesquioxyde avec lequel l'anthracite s'était combiné : le produit final contenait 51.52 pour 100 de fer.

Le silicate tribasique de protoxyde, préparé de la manière indiquée, fut fondu avec de l'hématite et de l'anthracite en quantités suffisantes, pour produire respectivement un, deux

et trois équivalents additionnels de protoxyde de fer; mais dans chacun des cas le produit consistait en un silicate bien fondu que l'on pouvait facilement verser hors du creuset, et qui n'était que le silicate tribasique lui-même ; la masse frittée restant au fond était très-attirable à l'aimant.

C'est sur ce silicate, qui se recueille souvent à l'état bien cristallisé dans les usines, que nous avons précédemment appelé l'attention (1). Il appartient au système prismatique droit. Sa dureté est égale à 6 par rapport au feldspath, et sa densité à 18°.6 C. est 4.0805. Ces observations, il convient d'ajouter, ont été faites par notre ami le professeur Miller, de Cambridge, sur un échantillon de scorie trouvé dans le carnau d'un four à puddler, et non pas, — comme on le verra d'après l'analyse suivante que nous avons faite nous-même, — sur le silicate absolument pur :

Silice.	29.60
Protoxyde de fer..	48.43
Sesquioxyde de fer.	17.11
Protoxyde de manganèse. . .	1.13
Alumine. . :	1.28
Chaux..	0.47
Magnésie.	0.35
Acide phosphorique.	1.34
Sulfure de fer (FeS)..	1.61
	101.32

Le sesquioxyde de fer présent paraît résulter de la peroxydation du protoxyde postérieurement à la formation des cristaux (2). En évaluant tout le fer à l'état de protoxyde, la formule est $3FeO,SiO^3$.

En essayant de faire des silicates de la formule $3FeO,2SiO^3$ et $6FeO, SiO^3$, par la méthode suivie dans les essais précédents, on a trouvé sans exception : que le silicate sorti du creuset contenait la même proportion de protoxyde de fer que

(1) *Métallurgie*, t. I, p. 37.
(2) Voir *Métallurgie*, t. I, p. 38.

le silicate tribasique; que sous tous les rapports il ressemblait à ce silicate, et qu'il restait une masse d'oxyde de fer frittée, non fondue, attirable à l'aimant. En chauffant dans un creuset en fer du silicate de protoxyde de fer contenant plus de silice que le silicate tribasique, le creuset fut énergiquement attaqué et corrodé; et cette action ne cessa que lorsqu'il y eut assez de protoxyde pour former du silicate tribasique. Ce fait, comme on le verra plus tard, a une grande importance dans certains procédés de la fabrication du fer. Ces données se fondent sur l'expérience suivante :

$3FeO, 2SiO^3$.

	Poids en grammes.	Rapport du mélange pour 100 de silicate.
Hématite.	37.57	58.2
Silice.	30.44	47.5
Anthracite..	2.72	6

Le produit ressemblait au silicate tribasique; il pesait 97^{gr}.68 et contenait 50.06 pour 100 de fer : le creuset avait été rongé.

On renouvela l'expérience avec le même poids de matières. Le creuset était fortement corrodé et le produit pesait 101^{gr}.70. En supposant que le sesquioxyde de fer se fût simplement réduit en protoxyde avec dégagement d'oxygène ($Fe^2O^3 = 2FeO + O$), le produit aurait dû peser 64^{gr}.25; mais en admettant que le sesquioxyde ait été réduit par le fer du creuset, avec formation d'une proportion équivalente de protoxyde de fer, et que celui-ci se soit combiné avec la silice, le produit aurait alors pesé 81^{gr}.16; et si le fer du creuset s'était assez oxydé pour convertir tout le silicate en silicate tribasique, le produit pèserait 101^{gr}.95. Or, le poids constaté par l'expérience est de 101^{gr}.70; mais cette approximation est probablement accidentelle, car on ne doit pas s'attendre, dans des essais de cette nature, à des résultats mathématiques.

De la réduction du silicate de protoxyde de fer par le charbon. — Les recherches suivantes sont dues à notre élève

M. Richardson qui se servit de creusets d'argile, brasqués avec un mélange de poussier de charbon et de mélasse. Il opéra d'abord sur la scorie de coulée d'un four à puddler, qui donnait à l'essai, par la voie humide 55.19 pour 100 de fer, c'est-à-dire un peu plus que la proportion théorique du silicate tribasique ($3FeO,SiO^3$). Il mélangea intimement 0gr.650 de poussière de cette scorie avec 0gr.129 de charbon, et l'exposa dans un creuset brasqué et luté, pendant une heure, à la plus forte chaleur d'un fourneau à essais. Les résultats de deux expériences semblables sont rapportés plus loin. Les culots bien fondus étaient *de la fonte blanche* très-cassante. La scorie de coulée contient ordinairement beaucoup d'acide phosphorique qui enrichit en phosphore le fer réduit, et le rend par conséquent cassant.

	1. Poids en grammes.	2. Poids en grammes.
Fer.	5.35 ou 53.5 %	5.34 ou 53.4 %
Scorie.. . . .	1.48 ou 14.8 %	1.56 ou 15.6 %

On prépara expressément du silicate tribasique de protoxyde de fer, en chauffant ensemble un mélange intime d'hématite très-pure, de sable blanc fin et d'anthracite, en proportions convenables pour produire ce silicate. Les quantités réellement mélangées étaient 155gr.45 d'hématite, 58gr.29 de sable et 12gr.95 d'anthracite. Le mélange fut chauffé dans un creuset de fer forgé placé dans un fourneau à essais et la combinaison s'opéra assez subitement, à une température voisine de la chaleur blanche. On versa le produit très-fluide dans une lingotière de fer et on le cassa quand il fut froid ; sa cassure était très-cristalline et des cristaux bien définis occupaient une cavité près de la surface ; ces cristaux avaient les caractères propres au silicate tribasique, une couleur noir verdâtre foncée, un éclat vitreux, la translucidité sur les bords, etc. Il pesait 198gr.85, et il accusait par la voie humide 52.9 pour 100 de fer, soit théoriquement 53.6 pour 100.

1. — $6^{gr}.48$ de ce silicate en poussière fine furent recouverts, sans aucune addition, dans un creuset brasqué fermé avec un tampon en charbon de bois; le couvercle étant bien luté, on exposa le tout pendant une heure et demie à la chaleur la plus forte d'un fourneau à essais capable de fondre le fer forgé. La masse de scorie était d'un gris-olive clair et contenait, outre de petits globules de fer disséminés, un gros culot blanc, à cassure très-cristalline et pourtant *malléable*, contrairement à celui obtenu avec la scorie du four à puddler, qui est un silicate tribasique *impur*. Le culot pesait $2^{gr}.196$ et les globules $0^{gr}.149$; le total du fer réduit s'élevait à 36.28 pour 100; on remarquera qu'il n'était pas à l'état de *fonte de fer*.

	2.	3.	4.
Silicate tribasique. . . .	100	100	100
Culot de fer.	24.94	29.58	31.34
Globules de fer.	11.04	4.50	3.37
Total du fer. . . .	35.98	34.08	34.71

Dans le n° 3 on pesa la scorie du résidu; elle représentait 56 pour 100.

5. — $64^{gr}.77$ de silicate tribasique furent traités comme dans les essais précédents; la masse était sphérique, creuse, composée de fer réduit, mélangé de scorie qui pénétrait dans la brasque par veines; elle était très-résistante et d'un gris foncé. La température n'avait pas été assez élevée, comme on le verra d'après l'expérience suivante.

6. — On chauffa très-fortement pendant trois heures $51^{gr}.82$ de silicate tribasique; le produit ressemblait à celui des premières expériences. Le gros culot pesait $13^{gr}.88$, et les globules $4^{gr}.18$; le total du fer réduit était de $18^{gr}.06$, ou 34.87 pour 100. Le gros culot était très-malléable et à cassure très-cristalline.

Dans tous ces essais la moyenne pour cent du fer réduit est 35.18 pour 100. On fit fondre une portion du silicate résidu

ou de la scorie de l'une de ces expériences, avec un mélange de carbonate de soude et de potasse; le produit fut traité par l'acide chlorhydrique; on en sépara la silice comme d'habitude et on dosa le fer par une solution titrée; la proportion était de 33.9 pour 100, correspondant à la formule $FeO.SiO^3$. D'où il résulte que seulement deux des équivalents de protoxyde de fer dans le silicate tribasique peuvent se réduire par le charbon.

Silicate de sesquioxyde de fer. — Pour préparer des silicates de la formule $Fe^2O^3.3SiO^3$, on employa 23gr.97 d'hématite et 41gr.45 de sable. En versant le produit hors du creuset, il ne s'écoula qu'une petite partie suffisamment fluide; elle pesait 12gr.60, ressemblait à du silicate tribasique de protoxyde de fer et contenait 50 pour 100 de fer. Une masse d'un noir grisâtre, frittée, pesant 65gr.48, restait dans le creuset; la moitié environ était de l'oxyde magnétique de fer, et l'autre moitié de la silice non combinée.

Silicate tribasique de protoxyde de fer grillé à l'air. — Lorsqu'on grille à l'air, à une bonne chaleur rouge, la poussière de ce silicate, l'oxygène est absorbé et le protoxyde de fer se transforme plus ou moins en sesquioxyde. Quand le silicate est grillé en morceaux, aussi gros ou plus gros même que le poing, la transformation est analogue; et si on continue le grillage pendant un temps suffisant, on obtient un produit relativement infusible. On grille pendant plusieurs jours, dans des fours ressemblant à des fours à briques ordinaires, une grande partie de ce silicate, ou des scories de four à puddler, résultant de la fabrication du fer; l'oxydation s'opère et l'on trouve une substance réfractaire appelée *bull-dog* en anglais. Ce produit a été l'objet d'un brevet pris par MM. Bradley, Barrows et Hall de Tipton, Staffordshire-Sud (1). Le *bull-dog* a un éclat vif se rapprochant de l'éclat métallique; il est gris

(1) N° 7778, A. D., 21 août 1838.

foncé et a souvent un beau reflet velouté à la surface. Son infusibilité dépend exclusivement de la peroxydation du fer. Feu T.-H. Henry nous a appris qu'il avait analysé des échantillons de *bull-dog* où le fer était complétement à l'état de sesquioxyde; et comme la silice séparée par l'acide chlorhydrique était à l'état *pulvérulent* et non à l'état gélatineux, il en conclut qu'elle n'y était pas combinée avec le sesquioxyde de fer. Nous croyons cette opinion fondée, car en chauffant fortement des mélanges intimes de sesquioxyde de fer, aucun agent réducteur n'étant présent, nous n'avons pas pu constater d'indices de combinaison.

Liquation du silicate de protoxyde de fer contenant du phosphore. — La scorie de coulée dont le *bull-dog* est formé contient souvent une forte dose de phosphore, en partie à l'état d'acide phosphorique. Pendant le grillage, il s'échappe de la scorie liquéfiée par les trous à feu, tandis qu'une autre portion, connue sous le nom de « scorie bull-dog », s'amasse et forme une couche continue sur la sole en briques. Cette scorie paraît résulter, en partie du moins, d'une véritable liquation; et la preuve en est dans les analyses suivantes de feu T.-H. Henry. Les portions sur lesquelles il avait opéré, avaient été choisies avec soin dans le même four par M. S.-H. Blackwell, et peuvent être considérées comme des échantillons moyens. La peroxydation du fer se produisit après la liquation.

	1.	2.	3.
Sesquioxyde de fer.	72.60	51.43	54.64
Silice.	17.21	27.05	22.00
Oxyde de manganèse (Mn^3O^4?).	4.21	11.15	8.98
Chaux; alumine.	Traces.	0.40	0.00
Acide phosphorique.	5.43	9.60	13.87
	99.45	99.63	99.49

Le n° 1 est le *bull-dog* même; le n° 2, la scorie du *bull-dog;* le n° 3, la scorie ordinaire du trou de coulée. Les différences dans l'acide phosphorique sont très-frappantes. On

pourrait presque admettre qu'une grande partie du phosphore de la scorie primitive, à l'état de phosphure de fer, s'est, à cause de sa fusibilité exceptionnelle, simplement liquéfiée. Les différences dans le manganèse sont aussi très-remarquables.

FER ET BORE.

Protoxyde de fer et acide borique. — Les expériences suivantes ont été faites dans notre laboratoire par M. Richardson. Les substances employées étaient du sulfate de protoxyde de fer desséché et de l'acide borique fondu. Les mélanges, chauffés dans des petits creusets du Cornouaille, furent coulés dans des lingotières en fer.

FeO, Bo^3.

$6^{gr}.923$ de sulfate et $3^{gr}.19$ d'acide borique auraient dû produire exactement $6^{gr}.48$ de borate de protoxyde de fer. La fusion s'opéra rapidement au rouge vif; le produit très-fluide, fut versé dans une lingotière en fer; solide, il était recouvert superficiellement d'une mince membrane d'un rouge vif, noir et à structure vitreuse; sa poussière était d'un noir brun. Il contenait 37.50 pour 100 de fer; la proportion théorique est de 39.43 pour 100.

On fit d'autres essais semblables dans le but de former des borates des formules $3FeO,BO^3$, $3FeO,2BO^3$, et $6FeO,BO^3$; on obtint des produits vitreux d'un noir brunâtre, de composition très-variable.

Sesquioxyde de fer et acide borique. — M. Richardson a fait encore les deux expériences suivantes, en se servant d'hématite et d'acide borique fondu.

Fe^2O^3, Bo^3.

Les proportions étaient : $4^{gr}.50$ d'hématite et $1^{gr}.97$ d'acide

borique. La température dut être assez élevée pour opérer la fusion : le produit, revêtu superficiellement d'une pellicule d'un rouge brillant, était vitreux et noir brun. Le sesquioxyde de fer s'était converti en grande partie en protoxyde.

$Fe^2O^3, 3BO^3$.

Les proportions étaient 2gr.80 d'hématite et 3gr.67 d'acide borique. Le produit, qui exigea une température assez élevée pour fondre, était en deux couches distinctes; l'une, supérieure, d'un brun verdâtre et à cassure vitreuse; l'autre, inférieure, noire, à cassure pierreuse, donnant une poussière noire brun. Ces deux couches n'étaient pas cristallines et contenaient du fer, principalement à l'état de protoxyde. La couche supérieure contenait 9 pour 100 de fer et la couche inférieure 25.77 pour 100. En recommençant l'expérience, les résultats furent identiques.

FER ET CARBONE.

De tous les composés du fer, nul comme importance pratique n'est comparable à ceux du carbone; nul au point de vue scientifique, n'offre un plus grand intérêt. Le rôle de cet élément, par les changements qu'il apporte dans les propriétés physiques du fer, donne naissance aux phénomènes les plus extraordinaires de la métallurgie. Des métaux virtuellement distincts, qui se trouvent désignés par le nom générique de *fer*, diffèrent plus l'un de l'autre par leurs caractères externes que beaucoup de métaux chimiquement différents. Sans le carbone, les nombreuses applications du fer seraient bien restreintes, et, autant qu'on peut le savoir, aucun autre métal ni aucun alliage de métaux ne pourrait le remplacer dans ses usages.

Si le carbone fait défaut ou n'existe qu'en petite quantité, on a du *fer forgé*, qui est relativement doux, malléable,

ductile, facile à souder et à forger, très-tenace, mais infusible, excepté aux températures rarement obtenues dans les fourneaux, et contrairement à l'acier, impropre à la trempe. Le carbone est-il présent en certaines proportions, et dans des limites qui ne peuvent être exactement fixées, on a les différentes variétés d'*acier*, très-élastique, malléable, ductile, forgeable, soudable et fusible dans les fours, pouvant acquérir des degrés très-différents de dureté par la trempe, au point même de tailler aisément le fer forgé; enfin, s'il est en proportion plus grande que dans l'acier, on a de la *fonte* qui est dure, relativement fragile et très-fusible, mais on ne peut la forger ni la souder. Les différences entre ces trois sortes de fer bien connues tiennent essentiellement à la proportion de carbone, bien que (nous l'apprendrons plus loin) d'autres éléments puissent concourir et concourent en effet à modifier, à un degré remarquable, les qualités de ce métal exceptionnel. Notre siècle est, au figuré, l'âge de fer; et l'on peut affirmer sans crainte qu'aucun autre élément n'a contribué autant à notre civilisation et au bonheur de nos sociétés; et peut-être aussi, paradoxalement, aux misères du genre humain. Mais n'oublions pas que le charbon a joué son rôle dans cette œuvre de bien et de mal.

Mode d'opérer la combinaison du carbone avec le fer. — La condition essentielle de cette combinaison est le contact du fer, au rouge ou au-dessus, avec du charbon ou avec certains composés gazeux de carbone. Lorsqu'on réduit un oxyde de fer en mélange avec un excès de charbon, à la température de fusion de la fonte ou au-dessus, la combinaison s'opère rapidement et il se produit de la fonte; toutes choses égales d'ailleurs, plus la température sera élevée, plus ce résultat aura lieu rapidement. Mais la combinaison se fait encore, bien que beaucoup plus lentement, quand on expose au rouge ou au-dessus du fer à l'état compacte ou des barreaux enterrés dans du poussier de charbon de bois. On fabrique ainsi beaucoup

d'acier en Angleterre par le procédé qui est connu sous le nom de *cémentation*. La température ordinaire de la cémentation est à peu près, ou un peu supérieure à celle de la fusion du cuivre. On peut substituer un hydrocarbure gazeux au charbon solide, et ce principe a été également pratiqué.

Le procédé de cémentation est, au point de vue scientifique et pratique, d'un immense intérêt. M. Leplay le considérant autrefois comme « une opération mystérieuse inexpliquée, » chercha à démontrer que la cémentation était exclusivement causée par l'action de l'oxyde de carbone. L'oxygène de l'air interposé primitivement entre les molécules de carbone, se convertit premièrement en acide carbonique, puis en oxyde de carbone, qui, au contact du fer, abandonne à ce dernier moitié de son carbone et passe à l'état d'acide carbonique. Mais cet acide se trouve encore immédiatement réduit par le charbon présent dans l'oxyde de carbone ; et ainsi le fer se carbure par l'action directe de l'oxyde de carbone. Gay-Lussac a publié, sur les conclusions de M. Leplay, un mémoire dont nous donnons les extraits suivants (1) :

« Mais qu'entend-on par ce mot cémentation ? C'est un mot inventé pour indiquer une cause, un effet inexplicable ; pour indiquer une anomalie, la seule de cette espèce qui s'offre en chimie.... MM. Leplay et Laurent ont, il est vrai, renversé cette théorie de la carburation, en reconnaissant plus tard que le fer ne décomposait pas l'oxyde de carbone ; mais de nouvelles expériences, particulières à M. Laurent l'ont conduit à admettre que le carbone se réduisait en vapeur à une très-haute température, et que la carburation du fer était due à cette vapeur, à l'exclusion du carbone qui ne peut la produire tant qu'il reste solide... Telle est donc la nouvelle théorie de M. Leplay, adoptée aussi par M. Laurent, sur la réduction des oxydes métalliques par le carbone, et sur la carburation par

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XVII, p. 221 ; 1846. Ce mémoire a déjà été cité t. I de la MÉTALLURGIE, au chapitre *Réduction*.



cémentation. Ces deux opérations sont dues l'une et l'autre à l'oxyde ou à la vapeur du charbon; et comme elles sont très-claires, très-compréhensibles par l'intervention de ces deux fluides élastiques et qu'elles sont conformes aux principes des anciens : *corpora non agunt nisi soluta*, l'action du carbone, comme corps solide, doit être nulle, parce qu'elle ne se comprend pas, qu'elle est mystérieuse. Mais combien de phénomènes sont cependant entourés pour nous du plus profond mystère ! Les nier serait-ce donc les expliquer? MM. Leplay et Laurent, tout en prouvant que la vapeur et l'oxyde du carbone peuvent réduire des oxydes et carburer des métaux, auraient dû prouver aussi que le carbone est impuissant, comme corps solide, à produire les mêmes effets ; les explications si faciles à trouver seraient venues après... MM. Leplay et Laurent, pour expliquer la cémentation et la carburation par simple contact, qui pour eux sont des opérations obscures et mystérieuses, invoquent l'état vaporeux que peut prendre le carbone, et croient en avoir résolu toutes les difficultés ; mais la cémentation, ou la propagation d'un effet chimique à travers la masse d'un corps solide, a lieu tout aussi bien par addition de matière que par soustraction ; et si, dans ce dernier cas, la matière soustraite, comme l'oxygène d'un oxyde, laisse effectivement des pores accessibles à un fluide élastique, tel que l'hydrogène ou l'oxyde de carbone, il n'en est plus de même pour la cémentation avec addition de matière, comme dans la carburation du fer, où le métal conserve toute son imperméabilité. En admettant donc que la vapeur de ce carbone ait déposé une première couche de carbone à la surface du fer, et qu'il y ait eu combinaison, comment la carburation se propagera-t-elle dans l'intérieur de la masse, inaccessible à la vapeur du carbone, et en quoi différera-t-elle de celle qui s'effectuera par le simple contact du charbon ? Enfin, en quoi sera-t-elle moins mystérieuse? Assurément, la cémentation prise dans sa généralité n'est pas encore suffisamment expliquée, mais on peut main-

tenir qu'elle est entièrement indépendante de la fluidité du corps cémentant, car, dès qu'on admet que le fluide peut pénétrer dans les pores du corps solide et y exercer son action, il n'y a plus alors, à proprement parler, cémentation ou propagation d'une action chimique à travers sa masse, il y a simplement action par voie de contact ou de mélange... Que la cémentation soit une opération obscure et mystérieuse, comme le pensent MM. Leplay et Laurent, nous ne le contesterons pas; mais nous n'admettrons pas non plus qu'elle le soit au point de forcer, pour l'expliquer, à oublier les plus claires évidences admises en chimie. La cémentation peut se concevoir lorsque les corps en présence agissent en proportions indéfinies, comme le carbone à l'égard du fer; mais lorsqu'ils sont arrivés à l'état monoatomique, le partage de l'une à l'autre couche présente de graves difficultés.

« ... Quoique je ne pense pas, avec ces savants distingués, que la cémentation soit une opération mystérieuse inabordable aux chimistes et aux physiciens, je conviens qu'elle a besoin d'être mieux étudiée qu'on ne l'a fait jusqu'à présent, et j'ai la conviction qu'on ne ferait pas de vains efforts.

« J'ajoute, en terminant, qu'il n'est plus permis aujourd'hui d'avoir une foi aveugle au principe si banalement répété des anciens chimistes, *corpora non agunt nisi soluta*. Il est certain, au contraire, que tous les corps solides, liquides ou aériformes, agissent les uns sur les autres, mais que, des trois états des corps, l'état solide est le moins favorable à l'exercice de l'affinité (1). »

(1) Le langage de Gay-Lussac peut sans doute paraître assez caustique; son raisonnement, quant à nous, semble clair et convainquant. La France n'a jamais produit de chimiste plus aimant de la vérité et plus philosophe que Gay-Lussac. Étranger à tous sentiments d'ostentation et de vanité personnelle, il produisit sur nous une impression ineffaçable lorsque nous fréquentions ses cours au Jardin des Plantes, il y a une trentaine d'années. Nous ne nous souvenons pas de l'avoir jamais entendu mentionner son propre nom, quand même il parlait de ses propres découvertes, et, sous ce rapport, il faisait contraste avec son illustre collègue le baron Thénard. Tous deux reposent dans la tombe; tous deux ont légué à la France une renommée dont elle peut être justement fière. Laurent est mort, lui aussi, pauvre et après avoir fourni d'excellents travaux...

Nous rapporterons maintenant une série d'expériences que nous avons faites sur la carburation du fer par cémentation, et quoiqu'elles soient loin d'être complètes, elles pourront peut-être offrir quelque intérêt. Nous comptions, il y a longtemps déjà, mener ces recherches à bonne fin, mais ne sachant pas quand nous pourrons les reprendre ; nous les publions telles qu'elles sont. M. Tookey nous a prêté son aide dans ces essais, qui remontent à février et mars 1859.

Action de l'oxyde de carbone sur le fer. — Le gaz fut préparé en chauffant de l'acide sulfurique avec du ferrocyanure de potassium (méthode de Fownes); on le recueillait dans un gazomètre à eau, d'où il passait par deux tubes de 0^m.85 de longueur, remplis de chlorure de calcium ; puis, par une série de quatre tubes de 0^m.85 également remplis de fragments de potasse, et enfin par un tube en porcelaine placé sur une grille à gaz avec de nombreux becs en argile, semblable à ceux ordinairement employés dans les analyses organiques. Au sortir du tube de porcelaine, le gaz arrivait dans un appareil pesé renfermant une solution de potasse caustique, muni d'un petit tube plein de fragments de potasse, d'où il s'échappait dans l'air.

1. On fit choix de lames étroites de tôle de fer du commerce, de très-belle qualité ; après les avoir d'abord décapées à l'acide chlorhydrique, on les lava rapidement à l'eau, on les essuya aussitôt et on les fit chauffer doucement. Une fois dans le tube de porcelaine, on fit passer un courant d'oxyde de carbone à travers l'appareil, jusqu'à ce qu'on se fût assuré que l'air atmosphérique en avait été entièrement chassé. On opéra sur deux lames de fer identiques. Elles avaient chacune 0^m.020 de largeur et 0^m.20 de long; elles pesaient ensemble 1^{gr}.876. La partie du tube de porcelaine où étaient logées les lames de fer, fut portée au rouge vif et maintenue à cette température pendant toute l'expérience qui dura trois heures; l'oxyde de carbone traversait continûment l'appareil. On fit passer en

tout 1150 centimètres cubes de gaz mesurés à l'état humide. Quand le tube, refroidi lentement, fut tout à fait froid, on en retira le fer. Les lames pesaient 1gr.877; de sorte qu'il y avait une augmentation de 0gr.001, ou 0.050 pour 100. L'appareil de potasse avait augmenté en poids de 0gr.040. On répéta l'expérience avec les mêmes lames de fer; mais le gaz, à mesure qu'il sortait du gazomètre, était dirigé, avant de gagner la série de tubes déjà indiquée, à travers une solution de potasse caustique. Pendant trois heures que continua l'essai à la même température, 245 centimètres cubes de gaz s'étaient écoulés hors du gazomètre. Il est évident qu'il devait y avoir erreur quelque part, car, en supposant que l'augmentation dans le poids du fer fût causée par le carbone, il n'aurait dû se former que 0.036 d'acide carbonique. Il est possible qu'un peu d'air se soit introduit dans le tube de porcelaine pendant le refroidissement et après que le courant du gaz eut été arrêté, car la surface des lames avait viré du bleu au jaune, à partir de chaque extrémité vers le centre, qui était resté brillant et tout à fait incolore. Cependant l'expérience démontre clairement que si l'augmentation en poids est causée par le carbone, l'action de l'oxyde de carbone sur le métal pendant six heures, à une chaleur rouge vif (1) est très-réduite.

Action du charbon solide sur le fer. — On employa du charbon de sucre d'un beau blanc. Le premier essai manqua par le fait du dégagement de matières gazeuses fournies par le charbon imparfaitement carbonisé.

2. *Dans une atmosphère d'oxyde de carbone.* — On traita une seule lame de tôle de même qualité, de 0.m21 de longueur, que l'on avait décapée de la même manière. On la plia de façon à former un tube imparfait qu'on entoura de charbon dans le tube en porcelaine : elle pesait 1gr.910. On fit

(1) Il est à craindre que la température donnée par la grille à gaz, ne soit pas assez élevée, bien que l'auteur la désigne comme rouge vif, pour permettre de cémenter dans ces conditions par le gaz oxyde de carbone. (*Les traducteurs.*)

passer un courant d'oxyde de carbone dans l'appareil avec les précautions déjà indiquées et l'on maintint le tube au rouge vif. L'opération dura trois heures, pendant lesquelles le gazomètre débita 1638 centimètres cubes de gaz. L'appareil à potasse augmenta en poids de $0^{gr}.098$ et le fer de $0^{gr}.019$ ou de 0.990 pour 100. Le fer, après avoir été chauffé au rouge et refroidi dans le mercure, était d'un gris foncé à la surface, il devenait cassant ; c'était de l'acier.

3. *Dans une atmosphère d'hydrogène.* — Une lame large de $0^{m}.010$ et longue de $0^{m}.21$ fut maintenue au rouge dans un courant d'hydrogène sec, pendant deux heures environ ; on la laissa refroidir dans le gaz même. La surface était brillante et de couleur claire. Le même appareil servait pour les expériences, en substituant de l'hydrogène à l'oxyde de carbone. Le gaz provenait de zinc attaqué par l'acide sulfurique dilué et purifié par une solution de potasse caustique contenant du protoxyde de plomb en dissolution. La lame, comme dans la dernière expérience, était enfouie dans du charbon de sucre. Le courant de gaz dura trois heures ; le tube de porcelaine fut maintenu au rouge vif pendant ce temps. On laissa refroidir la lame de fer dans le gaz, mais on ne put la durcir qu'en la chauffant au rouge et en la plongeant dans du mercure jusqu'aux deux tiers de sa longueur. On supposa d'abord qu'elle n'avait peut-être pas été en contact avec le charbon sur toute sa longueur. Avant l'expérience, elle pesait $1^{gr}.024$, puis $1^{gr}.031$, soit une augmentation de poids de 0.68 pour 100.

4. L'expérience n° 3 fut recommencée de la même manière. On se servit d'une seule lame de fer de $0^{m}.01$ de largeur et de $0^{m}.197$ de longueur. Elle fut soigneusement enterrée dans le *même* charbon qui avait servi à la dernière expérience. La bande, qui pesait $0^{gr}.996$, puis $1^{gr}.007$, avait augmenté en poids de 1.10 pour 100.

5. On eut recours à deux lames de la même tôle que dans

les expériences précédentes et décapées de la même manière. On enterra une des lames dans le *même* charbon que celui des n°s 3 et 4, l'autre lame resta libre ; un tampon d'amiante les maintenait séparées et la lame libre était logée près de l'extrémité du tube de porcelaine d'où le gaz s'échappait. Chaque lame était recourbée de façon à former un demi-cylindre. On continua pendant trois heures l'essai exactement comme auparavant. Avant l'expérience, la lame libre pesait 0gr.350, puis 0gr.3514 ; elle avait donc augmenté en poids de 0.3 pour 100 ; la lame enfouie pesait avant l'expérience 0gr.376, puis 0gr.379 ; elle avait augmenté de 0.7 pour 100. Elles offraient l'une et l'autre une grande différence d'aspect ; la surface de la lame libre avait un éclat terne et ressemblait au zinc par la couleur ; la surface de la lame enterrée était plus brillante, principalement sur le côté convexe, et d'une teinte grise plus foncée.

Ce résultat est frappant. En admettant que l'hydrogène fût pur, il aurait fallu que le gaz eut enlevé du carbone dans son passage sur le charbon, ou qu'un composé gazeux de carbone se fût dégagé du charbon, bien qu'exposé d'une manière continue au rouge vif (car c'était le même charbon qui avait déjà servi dans les expériences précédentes) ; ou bien il faut admettre que du poussier de charbon se soit transporté à l'avant du tube au contact de la lame de fer libre. Il y avait cependant une raison de croire que la dernière condition ne s'était pas réalisée, car on trouva ultérieurement un résultat identique, qui donna la certitude absolue qu'aucune parcelle de charbon n'avait été entraînée mécaniquement. Il sera également démontré que l'hydrogène n'avait pu produire par lui-même l'effet en question.

6. L'expérience fut répétée, comme la dernière fois, avec le *même* charbon, et sauf que la position des deux lames de fer fut alternée ; la lame libre était exposée à l'hydrogène, du côté où il pénétrait dans le tube. Les lames étaient séparées l'une de

l'autre par un tampon d'amiante et l'on avait ménagé un assez grand intervalle entre elles. Les plus grands soins furent pris pour empêcher le charbon de se transporter sur la lame libre. On introduisit les lames à plat et non pliées. L'expérience dura, comme précédemment, trois heures. La lame enfouie dans le charbon pesait avant l'expérience 0^{gr}.518, et après, 0^{gr}.521; son poids s'était augmenté de 0.570 pour 100; la lame libre pesait avant l'expérience 0^{gr}.558, puis 0^{gr}.557, de sorte qu'elle avait perdu 0.001; mais nous regardons cette différence de poids comme une erreur de pesée; il n'y avait eu en tous cas aucune augmentation, et c'est le point principal. La lame enterrée était devenue, après l'avoir plongée au rouge dans le mercure, aussi cassante que du verre; tandis que l'on pouvait, après un traitement analogue, plier l'autre bande sans la casser.

7. On eut encore recours au *même* charbon, seulement moulu plus fin; il était devenu très-dur. Une lame de la même tôle, préparée de la même manière, fut enfouie dans du charbon de bois; l'expérience continua quatre heures, pendant qu'un courant d'hydrogène traversait l'appareil sans interruption. La lame pesait avant l'expérience 1^{gr}.006, puis 1^{gr}.015, c'est-à-dire qu'elle avait augmenté en poids de 0.90 pour 100. La surface de la lame était très-brillante; mais en plongeant au rouge l'extrémité la plus rapprochée de l'entrée du gaz dans du mercure, elle ne se durcit pas.

8. Après avoir soigneusement essuyé le tube, l'expérience n° 5 fut exactement répétée pendant quatre heures; le même charbon fut encore employé. Deux lames libres, qui pesaient ensemble, avant l'expérience, 0^{gr}.846, puis 0^{gr}.874, avaient augmenté en poids de 0.33 pour 100; la bande enterrée dans le charbon pesait 0^{gr}.4410, puis 0^{gr}.4427; son poids s'était ainsi accru de 0.380 pour 100. L'extrémité, en contact avec le gaz débouchant dans le tube ne se durcit pas, après l'avoir plongée au rouge dans le mercure, bien qu'elle eût été enfouie apparemment dans le charbon.

9. On employa un long tube de verre de Bohême, au lieu d'un tube en porcelaine, et l'on opéra sur des lames de fer déposées par l'électricité. La figure 1 représente la disposition adoptée.

a, *a*, *a*, *a*, tampons d'amiante ; *b*, lame libre ; *c*, lame enter-

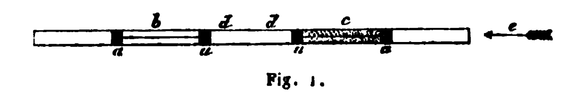


Fig. 1.

rée ; *d*, *d*, espace vide de 0m.25 de long, parfaitement propre ; *e*, flèche montrant la direction du gaz.

Le *même* charbon qui avait déjà servi bien des fois, fut repris dans cette expérience, dont les dispositions ressemblent sous tous les rapports à celles déjà indiquées. L'expérience dura quatre heures, sans qu'on pût apercevoir le plus léger dépôt dans l'espace vide *d*, *d*. La lame libre *b* pesait avant l'expérience 0gr.3857, puis 0gr.3867, soit une augmentation de 0.250 pour 100; la lame enfouie pesait avant l'expérience 0gr.3595, puis 0gr.3642, c'est-à-dire que son poids avait augmenté de 1.280 pour 100. Les deux lames se durcissaient facilement en les plongeant au rouge dans du mercure. L'augmentation de poids est remarquable ; on peut l'attribuer jusqu'à un certain point à l'état moléculaire et aussi à l'état de désagrégation du métal déposé par la pile.

10. Dans cette expérience, on eut recours à deux longs tubes de verre, tels qu'on les voit dans la figure 2.

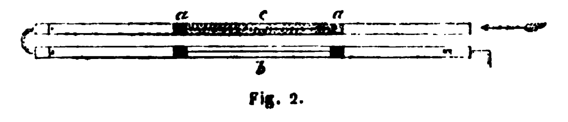


Fig. 2.

b, lame libre ; *c*, lame enterrée. On se servit du même charbon, et l'opération dura trois heures et demie. Le fer provenait d'une tôle mince. Avant l'expérience, la lame libre pesait 0gr.6126, puis 0gr.6133 ; son poids s'était donc accru de 0.105 pour 100. La lame enfouie pesait, avant l'expérience, 0gr.653, puis 0gr.733, soit un accroissement de 1.230 pour 100. Le

deuxième tube ne renfermait pas les moindres traces de poussière.

11. L'expérience n° 9 fut répétée pendant quatre heures, sauf que l'on fit d'abord passer l'hydrogène à travers une solution aqueuse d'azotate d'argent, et puis à travers de la ponce imbibée d'acide sulfurique concentré. On se servit de fer déposé par la pile. Les lames libres, il y en avait deux, pesaient avant l'expérience, $0^{gr}.588$, puis $0^{gr}.680$; leur poids s'était augmenté de 1.55 pour 100. La lame enterrée pesait avant l'expérience $0^{gr}.325$, puis $0^{gr}.329$, soit une augmentation de poids de 1.070 pour 100.

12. L'expérience n° 9 fut recommencée et continuée pendant quatre heures avec du poussier de charbon lavé à l'acide chlorhydrique, etc., et de la tôle de fer très-mince, non déposée par la pile, telle qu'on l'avait employée en premier lieu. La lame libre pesait avant l'expérience $0^{gr}.5056$, puis $0^{gr}.5062$, soit une augmentation en poids de 0.128 pour 100; la lame enfouie, avant l'expérience, pesait $0^{gr}.471$, puis $0^{gr}.472$, c'est-à-dire qu'elle avait augmenté en poids de 0.200 pour 100. Ces deux lames se durcirent sensiblement en les plongeant au rouge dans du mercure.

13. On se servit du même appareil avec de l'hydrogène, etc. Une lame de fer, non déposée par la pile, fut enfouie dans du charbon de bois en petits morceaux exempts de poussier après tamisage et préalablement calcinés dans un creuset couvert, pendant plusieurs heures, à la température élevée d'un fourneau à essais chauffé à l'anthracite. Avant l'expérience, la lame pesait $0^{gr}.8610$, puis $0^{gr}.8615$, soit une augmentation de 0.052 pour 100. Plongée au rouge dans du mercure, elle ne se durcit pas.

14. L'expérience n° 13 fut répétée identiquement. La lame pesait avant l'expérience $0^{gr}.6778$, puis $0^{gr}.6781$, soit un accroissement en poids de 0.038. Elle ne se durcit point par le traitement ordinaire.

15. On soumit du charbon de sucre, qui n'avait pas encore servi, dans un creuset couvert, pendant quatre ou cinq heures, à la température la plus élevée d'un fourneau à essais, chauffé à l'anthracite, et dans lequel on pouvait facilement fondre du fer forgé. De la tôle mince, qui n'avait pas été déposée, fut enfouie dans ce charbon, et chauffée comme précédemment, pendant trois heures et demie, dans un courant d'hydrogène. Avant l'expérience, elle pesait 0gr.788, mais le poids resta le même après l'essai.

16. Lorsqu'on maintient du fil de fer au rouge, pendant une heure seulement, dans du gaz d'éclairage, il devient dur comme de l'acier. C'est là une expérience très-frappante, que nous avons souvent répétée à notre cours.

17. La vapeur de paraffine peut être substituée au gaz d'éclairage. M. Hochstätter a fait cette expérience dans notre laboratoire, en exposant du fil de fer à la vapeur de cette substance dans un tube de porcelaine chauffé à blanc pendant une heure; il en retira de l'acier.

Le point le plus intéressant des expériences précédentes est la carburation du fer dans de l'hydrogène qui a passé sur du charbon chauffé au rouge et qui doit évidemment contenir un composé gazeux de carbone. Les questions qui se recommandent à l'attention sont les suivantes : l'hydrogène dans de telles circonstances enlève-t-il du carbone? Ou bien le composé gazeux de carbone qui cause la carburation du fer, se dégage-t-il simplement du charbon qu'on emploie? Autant que nous pouvons l'affirmer, après expérience, les essais relatés répondent négativement à la première question; pourtant, si l'on admet le deuxième point de vue, il est surprenant qu'un hydrocarbure continue à se dégager d'un même charbon, soumis consécutivement à une forte chaleur rouge. Cependant il a été bien établi que le charbon de bois retient l'hydrogène avec une grande ténacité, même après avoir été fortement chauffé; ce fait semblerait favorable au deuxième

point de vue, surtout si l'on se rappelle que le charbon de sucre a cessé de produire la plus légère carburation après avoir été soumis à une chaleur intense (voir l'expérience 15). Il est possible qu'un courant d'hydrogène provoque le dégagement d'un hydrocarbure dans du charbon soumis à des températures plus basses que celles auxquelles il se serait autrement développé?

On devra toutefois noter spécialement ce fait, que le charbon de bois fortement chauffé ne carbure plus le fer, même par contact. Les résultats précédents nous paraissent donc curieux et intéressants sous tous les rapports; mais ils exigent d'autres expériences pour lever les doutes qui restent. S'il était prouvé plus tard, et nous le croyons possible, qu'un hydrocarbure continue, pendant un long laps de temps, à se dégager lentement du charbon maintenu au rouge ou à une température un peu plus élevée, on ne comprendrait pas pourquoi on ajoute une certaine proportion de charbon de bois neuf chaque fois qu'on recommence l'opération industrielle de la cémentation. Tout le charbon ainsi employé contient une quantité notable d'hydrogène, qui, à une température plus élevée que celle de la carbonisation industrielle, se trouverait en partie entraîné à l'état de combinaison avec le carbone; or, ce composé déterminerait activement, sinon exclusivement, la carburation.

Cémentation par le charbon et par l'oxyde de carbone. — Dans le volume qui traitera de l'acier, nous aurons l'occasion de résumer les expériences récentes sur la formation et la composition des aciers. Nous nous bornerons à citer ici celles qui ont trait spécialement à l'action sur le fer du charbon et de l'oxyde de carbone.

M. F. Margueritte a cherché à démontrer que le fer pouvait être transformé en acier :

1° Par le charbon pur (diamant, charbon de sucre, plombagine). Ses essais ont déjà été cités dans notre note, page 92, contrairement à M. Saunderson, qui a prétendu que le charbon pur ne cémente pas et par opposition à l'opinion exprimée par M. Frémy, que non-seulement l'azote était indispensable à la cémentation, mais que ce gaz était aciérant; autrement dit, que l'acier est un azoto-carbure de fer.

2° Par l'oxyde de carbone pur. MM. Leplay et Laurent avaient fondu le métal

sur lequel passait l'oxyde de carbone produit industriellement, au moyen du charbon ordinaire et de l'air, et comme on paraissait avoir constaté depuis eux et d'accord en cela avec les expériences n° 2 du docteur Percy, que l'oxyde de carbone pur ne donnait aucune cémentation, on rejeta leur hypothèse, qui voulait que l'oxyde de carbone fût le corps volatil aciérant. M. Margueritte a repris ces expériences pour démontrer que l'oxyde de carbone cémente et que l'aciération du fer sous l'influence de ce gaz est indépendante de certaines impuretés du fer, le silicium entre autres. — L'oxyde de carbone provenait de la décomposition de l'acide oxalique pur par l'acide sulfurique pur. Il avait été séparé de l'acide carbonique en traversant plusieurs flacons remplis de lessive de potasse, à la suite desquels se trouvait une dissolution de baryte qui ne devait pas se troubler. L'oxyde cheminait ensuite à travers des tubes renfermant de la potasse, puis de la pierre ponce imbibée d'acide sulfurique, puis arrivait dans un tube de porcelaine, verni à l'intérieur et à l'extérieur.

« M. Margueritte a fait passer à une température élevée dans le tube de porcelaine un courant d'oxyde de carbone ainsi purifié et desséché. Après trois heures de dégagement, la présence de l'acide carbonique était presque insensible. On a introduit alors dans le tube deux fils de fer de 0m.0015 de diamètre préalablement traités par l'hydrogène. Immédiatement l'acide carbonique s'est dégagé et a continué de se produire avec une certaine abondance pendant trois heures de calcination, après lesquelles les fils ont été complétement cémentés. Lorsque les fils de fer ont été retirés, la production de l'acide carbonique est redevenue insignifiante (1). »

Dans une deuxième série d'expériences, M. Margueritte a chauffé simultanément pendant trois heures à des températures croissantes, dans un courant d'oxyde de carbone, du fer pur divisé (de l'oxalate), puis du fer aggloméré préalablement en présence de l'hydrogène à une forte chaleur, et des fils de fer du commerce de diverses provenances, en ayant soin, dans chaque cas, de faire échauffer et refroidir le fer dans un courant d'hydrogène. Ces essais se résument ainsi :

	Augmentation de carbone pour 100. Fer pur.		
	Divisé.	Aggloméré.	Fils de fer.
A la grille à gaz (cerise naissant). .	6.6	1.5	Complétement cémentés.
Dans un fourneau sans dôme, chauffé au charbon de bois (cerise clair).	6.55	0.98	Id.
Le même fourneau sans dôme (orange foncé), fusion de l'argent.	1.21	6.9/1000	Id. Fils de 0m.0035
Le même fourneau avec dôme, chauffé au coke (orange clair), fusion du cuivre.	»	5.1/1000	Complétement cémentés. Fils de 0m.0035.

(1) *Comptes rendus*, t. LIX, p. 520; 1864.

Suivant l'auteur, on constate d'après ces essais où l'on peut suivre pas à pas l'action de l'oxyde de carbone sur le fer, qu'aux températures des caisses de cémentation, le fer pur se carbure en même temps que le fer du commerce se cémente; d'où l'auteur conclut que l'affinité entre le fer et l'oxyde de carbone est directe et indépendante de toutes impuretés. Les échantillons de fer ainsi carburé, attaqués par le brôme ont tous laissé un résidu de carbone plus ou moins considérable, mais plus que suffisant pour constituer de l'acier (1).

Dans une dernière communication à l'Académie (2), M. Margueritte confirme ces résultats; c'est-à-dire la cémentation complète, après six heures seulement, par le gaz oxyde de carbone, de fils de fer de $0^m.0035$ et la cémentation à $0^m.0015$ de profondeur d'un barreau de $0^m.006$. Du charbon de sucre calciné pendant douze heures à une forte chaleur et finement pulvérisé a pu en dix heures cémenter presque à cœur un barreau de fer de $0^m.006$ de côté. La température et la durée de la calcination auraient la plus grande influence sur les résultats de la cémentation par l'un ou l'autre agent.

M. Caron, combattant l'opinion de M. Margueritte, s'attache à prouver, à l'appui de sa propre théorie sur la cémentation par les cyanures alcalins, que le charbon et l'oxyde de carbone ne peuvent pas compter parmi les éléments les plus actifs de la cémentation industrielle. Sa réfutation se base : 1° sur ses propres expériences; 2° sur des considérations empruntées au procédé industriel même et sur les expériences déjà relatées du docteur Percy, dont les résultats sont inverses de ceux obtenus par M. Margueritte.

Nous ne nous occuperons ici que des essais directs de M. Caron :

Ainsi, M. Caron a pris du peroxyde de fer obtenu au moyen de l'oxalate pur, calciné longtemps à l'air, mais à la plus basse température possible, et l'a traité par l'oxyde de carbone. Il a constaté que si la température à laquelle on opère est élevée, c'est-à-dire au rouge ou au-dessus, le fer réduit à l'état métallique n'absorbe pas de carbone. Si, au contraire, la température est aussi basse que possible, insuffisante pour ramollir le verre, l'oxyde est décomposé par le fer déjà réduit, en charbon qui se fixe et en acide carbonique qui s'échappe. C'est ainsi que $0^{gr}.700$ de fer réduit pesaient, après six heures d'exposition à l'oxyde de carbone, $3^{gr}.170$; ils avaient augmenté de $2^{gr}.470$. Dès 1853, M. Stammer a obtenu par l'oxyde de carbone du fer contenant 70.23 pour 100 de carbone (3). L'augmentation de poids, d'après M. Caron, n'est pas entièrement due à la présence du carbone, il s'y trouve un peu d'oxygène ou peut-être de l'oxyde de carbone (4).

D'autre part, M. Caron a expérimenté directement sur deux barres de même dimension ($0^m.01$ carré sur $0^m.30$ de long), extraites d'un même morceau de fer très-propre à la cémentation. L'une de ces barres, cémentée au charbon

(1) *Comptes rendus*, t. LIX, p. 726.
(2) *Comptes rendus*, t. LIX, p. 821.
(3) *Pogg. Ann*, t. XCII, p. 135; 1853.
(4) *Comptes rendus*, t. LIX, p. 334.

dans un tube au rouge pendant douze heures, puis légèrement martelée au petit rouge et trempée, s'est cassée net dans l'étau d'un premier coup ; elle offrait à l'œil une cémentation dont la profondeur variait entre $0^m.002$ et $0^m.003$ et était inattaquable à la lime. La deuxième barre, chauffée pendant le même temps et dans les mêmes conditions dans un tube de porcelaine, où elle était soumise à l'action du gaz oxyde de carbone provenant de la décomposition de l'acide oxalique, fut traitée exactement comme la première, mais elle se replia à froid sans se briser et on ne pouvait distinguer au point de courbure aucune trace de cémentation. Une troisième barre, chauffée dans l'oxyde de carbone *industriel* (provenant de l'action de l'air sur le charbon) fournit les mêmes résultats que la deuxième barre (1).

M. Caron, invité à essayer le graphite des cornues à gaz pour la cémentation, a chauffé une barre de $0^m.01$ carré sur $0^m.30$ de long dans un tube en terre poreuse rempli de graphite neuf cassé en morceaux de 1 centimètre cube environ, l'air ayant accès par les extrémités. Le foyer était alimenté par du graphite de même espèce. L'opération a duré six heures au rouge-cerise. Au bout de ce temps, la barre a été martelée et trempée; elle n'était aucunement aciérée. La même opération, recommencée trois fois, a eu les mêmes effets. D'après M. Caron (2), le noir de fumée calciné et bien probablement le coke, la plombagine et tous les charbons privés d'alcalis et de gaz carburés donneraient les mêmes résultats que le charbon de cornues dont les cendres (5 pour 100) ne renferment que des traces de potasse, de soude et de lithine accompagnées de 1 pour 100 de soufre environ (*). (*Note des Traducteurs.*)

Le procédé de carburation par cémentation, qu'il s'opère par l'intermédiaire d'un composé gazeux de carbone ou par le contact direct du charbon solide, est remarquable et difficile à expliquer. On comprend aisément comment la couche extérieure du métal se carbure ; mais comment expliquer que celui-ci abandonne du carbone à la couche immédiatement voisine, que la deuxième en cède à la troisième et ainsi de suite ; jusqu'à ce que le cœur d'une barre de fer, d'une épaisseur même considérable, reçoive son plein complément de cet élément, c'est-à-dire que le carbone, s'ajoutant continuellement de l'extérieur, remplace celui que cha-

(1) *Comptes rendus*, t. LIX, p. 613.
(2) *Comptes rendus*, t. LIX, p. 819.

(*) En présence de résultats aussi diamétralement opposés, la conclusion de toutes ces expériences faites dans des conditions différentes, d'accord avec le docteur Percy, n'a gagné qu'en difficulté au point de vue scientifique.

que couche abandonne à celle immédiatement proche. Si l'on admet qu'il y a combinaison chimique, ce que nous allons examiner, pourquoi une couche céderait-elle son carbone à une autre? Si, d'autre part, le phénomène est comparable à ce qui se passe pour les dissolutions, il paraît peut-être plus compréhensible ; car, bien que le fer ne soit pas à l'état de fusion, il est chauffé assez fortement pour que ses molécules aient acquis une certaine liberté de mouvement. Dans la réduction d'un fragment solide d'oxyde de fer au contact du charbon chauffé au rouge, l'oxyde de carbone paraît être l'agent essentiel ; et ainsi que Gay-Lussac l'a fait remarquer, on peut facilement concevoir comment ce gaz se fraye à l'intérieur un chemin par des fissures ou par des pores sans nombre. L'enlèvement de l'oxygène à la couche extérieure de l'oxyde, à une température bien inférieure à celle de la soudure du fer, doit nécessairement rendre la couche contiguë perméable au gaz réducteur, et ainsi de suite jusqu'au cœur. Mais, pour la cémentation par le charbon, la difficulté mentionnée ci-dessus subsiste et ne se présente pas dans la soi-disant réduction de l'oxyde de fer par cémentation. Il y a véritable diffusion dans le premier cas d'un solide à travers un autre solide, ce qui suggère l'idée de la diffusion liquide. Tandis que le fait est patent, le *mode de production* reste très-obscure. Nous pouvons facilement nous payer de mots, dans la pensée que nous avons trouvé une explication, mais, en réalité, nous ne faisons qu'exprimer le phénomène en d'autres termes ; cette erreur est assez commune dans la science, de même que dans les autres branches des connaissances humaines.

Fonte malléable. — On peut extraire du carbone du fer solide et en introduire également par un procédé de cémentation depuis longtemps pratiqué. Ainsi, lorsque de la fonte est immergée dans de la poussière d'hématite rouge et maintenue au rouge vif pendant deux ou trois jours, elle perd du carbone et acquiert un degré considérable de malléabilité ; elle se conver-

tit en ce qu'on appelle « fonte malléable. » En Angleterre, on traite de cette manière divers objets de fonte, en fondant de l'hématite rouge avec du charbon de bois. Le docteur W.-A. Miller a publié les analyses suivantes de ce métal avant et après le traitement :

		Avant.		Après.	
Poids spécifique. . . .		7.684		7.718	
		Pour 100.			
Carbone. . .	combiné. . . .	2.217	2.800	0.434	0.880
	non combiné..	0.583		0.446	
Silicium..			0.951		0.409
Aluminium.			Traces.		Traces.
Soufre..			0.015		0.000
Phosphore..			Traces.		Traces.
Sable.			0.502		—

D'où il résulte que les 4/5 environ du carbone combiné paraissent s'être dissipés ; tandis que le carbone non combiné, ou graphitique, a subi à peine une diminution. Le départ de plus de la moitié du silicium est un fait très-remarquable que nous ne pouvons expliquer. Le docteur Miller nous a assuré qu'il n'avait pas de motif de douter de l'exactitude du résultat. Le soufre qui, on le sait, est intimement associé au fer, avait été éliminé, ce qui certainement ne pouvait être prévu.

Propriétés. — La fonte malléable a été l'objet d'une intéressante monographie communiquée par M. A. Brüll à la Société des ingénieurs civils de Paris, en 1863. Nous lui empruntons les détails qui suivent sur les propriétés de la fonte décarburée, nous réservant de reproduire plus tard les indications sur sa fabrication et ses emplois.

La *densité* de la fonte malléable paraît se rapprocher de celle de la fonte; trois morceaux pris au hasard ont donné pour poids spécifique approximatif 7.10, 7. 25, 7,35. Sa *couleur* varie suivant les circonstances du recuit ; mais elle se distingue aisément du fer par un gris bien moins noir. La *cassure* est à grains fins, blancs et brillants ; parfois elle présente l'aspect soyeux propre aux aciers très-doux : sur les grosses pièces de plus de 0^{m}.008 à 0^{m}.010, elle n'est plus homogène, et on y distingue deux ou plusieurs zones, du centre à l'extérieur, qui paraissent correspondre à des périodes du recuit. D'une teinte blanche, un peu plus mate que celle du fer, la fonte malléable acquiert aisé-

ment un *poli* qui ne le cède en rien à celui de l'acier. Sa *dureté* n'est pas grande ; les outils l'entament à l'extérieur sous forme de copeaux longs et résistants, et au centre sous forme de copeaux petits et friables, ressemblant presque à de la limaille ; elle s'use assez vite par le frottement. Sa *porosité et* sa *sonorité* sont très-grandes. Grâce à sa *malléabilité*, on peut la tordre ou la plier sous un angle fort aigu, sans montrer de gerçure. Quand le morceau est gros, on entend, à un moment donné de l'épreuve, un craquement qui indique que l'âme en fonte s'est cassée, tandis que l'enveloppe en fer continue à bien résister. Cette propriété permet d'estamper et de laminer la fonte à froid, de l'étirer presque aussi fin que le bon fer ; à chaud, mais à basse température, on la forge, on l'étire, on la perce et on la mandrine ; à une température plus élevée, au rouge vif ou au blanc naissant, elle se brise en morceaux. Aussi ne se soude-t-elle pas à elle-même, ni sur le fer, ni sur l'acier, ce qui lui retire bon nombre d'applications utiles. Sa fusion s'opère à une température fort élevée ; ce qui lui permet de résister au feu aussi bien que le fer. Enfin, les pièces de fonte malléable qui ont besoin de dureté se cimentent plus vite et plus profondément dans un temps donné que le fer forgé. La trempe en paquets lui donne un grain aciéreux auquel on se méprendrait aisément, mais aussi un peu de fragilité.

La fonte malléable, d'après les expériences de MM. Morin et Tresca, au Conservatoire des arts et métiers, et celles faites dans divers ateliers, aurait un coefficient élastique et une limite d'élasticité aussi élevés que le bon fer ordinaire, mais elle serait très-inférieure aux fers même moyens pour la faculté de déformation, et comme sa puissance vive de rupture est beaucoup moindre, elle convient moins bien pour la construction des pièces qui doivent résister à des chocs violents sans rompre. (*Note des Traducteurs.*)

On peut, comme nous le verrons par la suite, extraire plus ou moins le carbone de la fonte, en la maintenant au rouge, à l'air libre, sous forme de plaques minces chauffées pendant un espace de temps suffisant. Un procédé fondé sur ce principe est encore appliqué, et M. Tunner assure que le silicium comme le carbone disparaissent (1).

Proportion de carbone dans le fer. — Dans ces dernières années, les progrès de la chimie analytique ont attiré l'attention sur le dosage du carbone dans le fer; quoique nous ayons acquis des informations précieuses, il reste encore, à notre avis, beaucoup à chercher, et nous sommes toujours aussi embarrassés en présence de faits qui sont réellement élémen-

(1) *Stabeisen u. Stahlbereitung*, t. II, notes p. 42-49.

taires. Parmi les nombreux observateurs qui ont travaillé dans cette direction, nous devons surtout mentionner Karsten et le Suédois Sefström.

En 1846, Karsten communiqua à l'Académie des sciences de Berlin un mémoire sur les ***carbures de fer*** (1); nous en donnons un résumé : Il considérait le maximum de carbone avec lequel le fer pouvait se combiner comme étant de 5.93 pour 100, et il croyait à l'existence dans tous les cas d'un polycarbure défini de fer, qui se dissolvait simplement dans un excès de fer; la qualité du métal dépendait essentiellement de la proportion de ce carbure. Mais il ne réussit pas à séparer ou à préparer ainsi un carbure ayant une composition bien définie. Le fer pur, parfaitement exempt de fer, écrit-il, est si doux, qu'il offre peu de résistance au frottement; et, par cette raison, il est impropre à la plupart des applications ordinaires. Lorsqu'il est combiné avec le carbone, dans certaines limites, le fer augmente de ténacité et, par conséquent, d'élasticité, de même que de malléabilité, de ductilité et de dureté. Cette dernière propriété s'accroît si on le refroidit subitement après l'avoir chauffé. Lorsque la proportion de carbone est considérable, comme dans le fer contenant plus de 0.2 à 0.25 pour 100 de carbone, le métal est désigné sous le nom d'acier. Plus le fer est privé de matières étrangères, surtout de silicium, de soufre et de phosphore, plus il faut de carbone pour le durcir. Dans le meilleur fer marchand de Suède ou d'Allemagne, fabriqué avec des minerais spathiques et des hématites, 0.35 pour 100 de carbone suffisent pour lui communiquer la propriété de durcir à un tel degré, que ce fer est désigné proprement sous le nom « d'aciéreux. » Le passage de ce fer à l'acier est si graduel, si insensible, qu'il est impossible de dire où l'un commence et où l'autre finit. Cependant, lorsque la proportion de carbone

(1) *Uber die Carburete des Eisens. von Hrn Karsten*; 5 novembre 1846.

atteint 0.5 pour 100, et que d'autres matières étrangères sont présentes en petite quantité, le fer est susceptible d'être assez durci pour étinceler sous le briquet, et on peut alors le regarder comme de l'acier. Mais dans le cas du fer parfaitement exempt de matières étrangères, il ne faut pas moins de 0.65 pour 100 de carbone, pour provoquer cette propriété. Du fer renfermant de 1 à 1.5 pour 100 est de l'acier, qui, après la trempe, acquiert le maximum de dureté combiné avec le maximum de ténacité. Quand le carbone excède la plus haute de ces limites, on peut obtenir encore plus de dureté, mais seulement aux dépens de la ténacité et de la soudabilité. Avec 1.75 pour 100 de carbone, la dernière propriété est à peu près détruite. Avec 1.8 pour 100 de carbone, le fer peut encore se travailler et se marteler, mais très-difficilement; quoique très-dur, il est doué pourtant d'une grande ténacité. Lorsque le carbone atteint 1.9 pour 100 ou au-dessus, le métal cesse d'être malléable à chaud, et 2 pour 100 de carbone paraît être la limite qui distingue l'acier de la fonte; le métal à l'état mou ne peut plus être martelé sans se criquer ou s'égrener sous le marteau.

Il y a deux espèces distinctes de fonte, la fonte grise et la fonte blanche. Elles diffèrent notablement en couleur, en dureté, en fragilité, en ténacité et en fusibilité. Le fonte grise jouit d'un degré de fusion plus élevé que la fonte blanche, et en se fondant, elle passe presque instantanément de l'état solide à l'état liquide; alors elle est très-fluide. La fonte blanche, au contraire, devient, à des températures plus basses, molle, puis pâteuse, avant de fondre. On croyait autrefois que ces différences étaient causées par la quantité de carbone plus grande dans la fonte grise que dans la fonte blanche. La fonte grise devient blanche par une solidification subite après fusion; et la fonte blanche devient grise par une solidification très-lente, après sa fusion à une température élevée, sans qu'il y ait dans l'un ou l'autre cas le moindre changement dans la pro-

portion de carbone. (Nous prouverons que cette assertion de Karsten n'est pas toujours vraie.) On a cherché à expliquer ces différences remarquables par des différences correspondantes dans le mode d'existence du carbone dans ces deux variétés de fonte. On a supposé que dans la fonte blanche le carbone se trouvait tout entier en combinaison avec le fer ; et que dans la fonte grise, il était en partie combiné, en partie répandu dans le métal à l'état de graphite. Le fer renfermant 2 pour 100 de carbone, c'est-à-dire l'acier, peut, après la fusion suivie de la solidification la plus lente possible, retenir la totalité de son carbone en combinaison ; mais quand on traite ainsi du fer tenant 2.3 pour 100 de carbone, il se sépare du graphite, et le métal offre l'aspect caractéristique de la fonte. Au delà de cette limite minimum, plus la proportion du carbone jusqu'au maximum de 5.93 pour 100 est grande, plus le fer est blanc et dur, lorsqu'il est à l'état de fonte blanche. (Mais, d'après nos expériences, le fer est loin de pouvoir retenir cette proportion de carbone en combinaison, sans la présence d'une quantité considérable de manganèse susceptible, par conséquent, de contribuer au développement de ces deux propriétés.)

Maximum de carbone absorbé par le fer pur. — M. Dick a fait les expériences suivantes dans notre laboratoire : Il prépara du carbone, en brûlant de l'huile de térébenthine et en recueillant le noir de fumée. Il prépara également du sesquioxyde de fer en dissolvant du fil de fer fin dans de l'acide chlorhydrique, en le peroxydant par l'acide azotique, en le précipitant par de l'ammoniaque, en le lavant, etc. ; et il en obtint aussi en faisant bouillir du sulfate de protoxyde de fer avec de l'acide azotique, en le précipitant par de l'ammoniaque, etc. Les creusets d'argile étaient brasqués avec du noir de fumée.

1. Un mélange avec excès de carbone, de sesquioxyde de fer provenant du sesquichlorure, fut fortement chauffé : on recueillit plusieurs globules et un culot de métal auquel adhérait une petite quantité de scorie. Le culot se criqua sous

le marteau, sans s'aplatir. La cassure était d'un gris foncé et assez uniforme. La densité de ce culot était 7.08; c'était à proprement parler du fer très-graphiteux. On dosa le fer par la solution de bichromate de potasse titrée, dans deux essais :

	Pour 100.
1er dosage : fer.	95.73
2e — —.	95.87
Moyenne.	95.80
Carbone, pour 100, par différence. .	4.20

2. On fit chauffer une quantité plus grande du même mélange, dans les mêmes conditions. On obtint quelques petits culots et des globules de métal. Les culots, ne paraissaient pas homogènes; quelques parties étaient plus faciles à couper que d'autres. La densité d'un des culots était de 7.097 : sous le marteau, il se fendilla immédiatement. Le carbone apparaissait en lamelles plus larges dans une partie que dans l'autre, et le fer était très-graphiteux. On fit quatre dosages par la solution titrée de bichromate de potasse :

	Pour 100.
1er dosage : fer.	96,75
2e — —.	97.42
3e — —.	96.40
4e — —.	96.03

D'où il résulte que le métal n'était évidemment pas de composition homogène.

3. On chauffa de la même manière un mélange de carbone et de sesquioxyde de fer préparé avec du sulfate. On obtint une foule de petits globules et un plus gros. On mit les creusets de nouveau au feu, afin de fondre tous les globules en un seul, mais la fusion ne put s'opérer. On cassa le plus gros culot; la cassure différait entièrement de celle des culots précédents. La densité était 6.968. On fit digérer dans de l'acide chlorhydrique un morceau pesant $8^{gr}.55$, et l'on recueillit le

graphite à part. Le poids ne changea pas, bien qu'on l'eût fait digérer une seconde fois dans l'acide chlorhydrique concentré.

Le fer fut dosé à l'aide d'une solution normale de bichromate de potasse :

	Pour 100.
Fer.	95.66
Graphite..	4.56
	100.22

Nous avons examiné le métal des expériences précédentes, afin de constater la présence du carbone combiné : il fut donc dissous dans l'acide chlorhydrique, et il se dégagea de l'hydrogène fétide. On fit bouillir avec une solution de potasse le résidu lavé sans que la solution fût colorée, et sans produire de précipité en neutralisant par l'acide chlorhydrique; or, quand on traite ainsi de la fonte renfermant une proportion notable de carbone combiné, la solution de potasse devient brune et lorsqu'elle est neutralisée par les acides, il se dépose des flocons bruns de matières charbonneuses. Il paraît donc certain que la plus grande partie du carbone, pour ne pas dire la totalité, se trouvait à l'état de graphite dans le fer réduit des expériences précédentes.

4. M. Hochstätter a fait les expériences suivantes sur du sesquioxyde de fer anhydre préparé artificiellement, exempt de soufre, mais pas entièrement de silice. Il mélangea intimement par trituration, 250 grains (16gr.19) de cet oxyde avec un grand excès de charbon de bois et soumit le mélange dans un creuset brasqué pendant huit heures (deux heures chaque jour), à une *température relativement basse*. Le culot était bien fondu et pesait 179 grains (11gr.59); sa couleur était gris foncé, sa cassure, légèrement grenue. Il contenait 95.85 pour 100 de fer; le carbone ne fut pas dosé. Le graphite n'apparaissait pas distinctement dans la cassure; on n'en trouvait pas de traces au sommet du culot. L'hydrogène dégagé par l'at-

taque à l'acide chlorhydrique avait une faible odeur d'hydrogène sulfuré.

5. 500 grains ($32^{gr}.39$) du même sesquioxyde de fer que celui de la dernière expérience, furent mélangés intimement avec 100 grains ($6^{gr}.48$) de graphite de Ceylan (renfermant environ 1 1/2 ou 2 pour 100 d'impuretés terreuses). On mit le mélange dans un creuset de plombagine et on le recouvrit de plombagine bien comprimée. Le creuset fut couvert et exposé pendant huit jours à une *température relativement basse*, comme précédemment. Refroidi rapidement, il contenait un culot bien fondu, pesant 347.5 grains ($22^{gr}.50$). Le haut de ce culot était parsemé de paillettes très-brillantes de graphite, qui semblaient s'être séparées du fer; la cassure était d'un gris sombre, présentant de petites paillettes brillantes d'un éclat très-graphitique. Le métal contenait 95.13 de fer et 4.63 pour 100 de graphite, qui fut dosé directement avec grand soin.

Schafhaütl a annoncé « que d'après ses observations, le « graphite n'est jamais produit dans les creusets par le fer pur « ni le carbone pur, à moins que l'oxyde noir de la surface ne « commence à attaquer les parois du creuset (1). » Il y eut pourtant du graphite produit dans les expériences précédentes, bien que le contact entre l'oxyde de fer et les parois du creuset fût empêché par la brasque de charbon, exempte de silicium. Dans le mémoire où Schafhaütl discute les conditions essentielles à la formation du graphite, son raisonnement, quelles qu'aient été ses expériences et ses observations, est loin d'être satisfaisant. Ses conclusions sont déduites de prémisses qui ne sont que des hypothèses : il y a une apparence de minuties et de recherches dans les mémoires que cet auteur a publiés sur le fer et l'acier, qui persuade difficilement un chimiste expérimenté dans la manipulation et accoutumé à dis-

(1) *Phil. Mag.*, t. XV, p. 425; 1839.

cuter les preuves scientifiques. Il n'y a pas d'objection à ce que l'on fasse des hypothèses, pourvu qu'il soit clairement entendu que ce sont des hypothèses, mais aujourd'hui il ne convient plus d'imposer leurs déductions comme si elles étaient basées sur des faits avérés. C'est là une faute grave, que l'on peut justement reprocher à Schafhaütl.

Les expériences suivantes ont été faites par Sefström (1): Du fil fait avec du fer de Taberg fut mis dans un creuset de charbon, puis couvert de carbonate de chaux et chauffé dans un fourneau à vent pendant une heure un quart; on obtint un culot de fonte bien fondu et dont la cassure était grise et feuilletée. Le poids du fer avait augmenté de 4.34 pour 100. De l'acier Akerby, chauffé dans ces conditions, s'était aussi converti en fonte de même nature, avec augmentation de 3.89 pour 100 en poids. Dans une autre épreuve, en chauffant sur de la chaux du fil de fer, recouvert de charbon de bois, on le fondit complétement, et son poids augmenta de 3 pour 100. La cassure du culot avait un aspect exceptionnel; elle présentait vers la surface une bordure mince d'un noir velouté, mais à l'intérieur elle avait l'éclat de l'argent, avec facettes planes cristallines si larges, qu'elles s'étendaient presque de part en part. Il était aussi dur que de l'acier faiblement trempé et d'une grande malléabilité. En recommençant cette expérience, le culot foncé à la surface était blanc à l'intérieur, compacte, mais non cristallin. On ne remarqua pas de différence dans les résultats que donna la chaux caustique, au lieu du carbonate.

Fer, manganèse et carbone. Essais de M. Dick. — De l'oxyde brun de manganèse (Mn^3O^4) fut préparé en calcinant du carbonate pur de protoxyde de manganèse. On chauffa fortement dans un creuset d'argile brasqué avec du charbon pur, un mélange de 25^{gr}.90 de sesquioxyde de fer, 0^{gr}.78 d'oxyde brun

(1) *Journ. f. techn. u. öconom. Chem. Erdmann*, t. X, p. 163; 1831.

de manganèse et 5^{gr}.96 de charbon. On obtint plusieurs culots, dont le plus gros fut cassé et analysé; sa densité était 7.60; il contenait du graphite que l'on pesa après l'avoir isolé par le traitement ordinaire; le poids ne changea pas, bien qu'on le fît bouillir ensuite dans une solution concentrée de potasse caustique. Le fer fut séparé à l'état d'acétate basique; les résultats des analyses sont reproduits ici :

Fer.	95.97	96.26
Manganèse. . . .	3.21	3.14
Graphite.	0.56	0.40
	99.74	99.80

Ces résultats nous ont surpris, car nous nous attendions à trouver une proportion considérable de carbone dans le produit, à cause du manganèse; mais il n'y a pas lieu de tirer des conclusions d'une seule expérience de ce genre. La température à laquelle la réduction s'opère peut, il y a lieu de le croire, modifier sensiblement le résultat.

Manière d'être du carbone dans le fer. — On admet généralement que le carbone existe dans le fer solide à l'état de combinaison et à l'état de graphite répandu mécaniquement dans la masse. On a l'habitude de désigner ces deux manières d'être du carbone par les mots *combiné* et *non combiné*. On suppose que le carbone graphitique se sépare pendant la solidification du fer après fusion, de même que le silicium graphitoïde se sépare du zinc dans des conditions identiques. Lorsque le fer graphiteux est fondu isolément, le carbone graphitique ne s'isole pas, mais en vertu de sa densité moindre que celle du fer, il s'élève et s'assemble au haut du métal liquide, puis disparaît et s'y redissout. Quand le fer contient beaucoup de carbone graphitique, sa cassure est gris sombre, grenue, ou cristalline à paillettes, on l'appelle alors *fonte grise*. Lorsque, au contraire, le fer contient beaucoup de carbone combiné, sa cassure est plus ou moins blanche, et parfois très-blanche ; on

lui donne alors le nom de *fonte blanche*. La fonte grise se convertit insensiblement en fonte blanche, et à un certain degré intermédiaire, les variétés grise et blanche sont visibles à la surface de cassure d'une même fonte qui constitue la *fonte truitée*, parce qu'elle est parsemée de taches comme la truite. On distingue parfois jusqu'à huit variétés de fonte, depuis le gris extrême jusqu'au blanc pur, et on les désigne respectivement par des numéros de 1 à 8. Ainsi le n° 1 est la fonte la plus grise; le n° 2 est moins gris, et ainsi de suite jusqu'au n° 5 qui indique la fonte truitée ; puis la couleur blanche prédomine de plus en plus jusqu'au n° 8, qui est la fonte blanche proprement dite. Un œil bien exercé reconnaît à première vue le numéro particulier à chaque variété de fonte, rien qu'à la cassure. Ces observations, il faut bien se le rappeler, ne s'appliquent qu'au fer renfermant beaucoup de carbone, c'est-à-dire aux *fontes*.

Il peut n'y avoir pas de preuves visibles de l'existence de carbone combiné dans le fer, ou en d'autres mots, aucune apparence de fonte blanche; et cependant le carbone combiné peut y être présent en proportion très-notable. Réciproquement, la fonte blanche peut contenir une quantité sensible de carbone graphitique, sans qu'il paraisse à l'œil. Il est douteux que la fonte, même la plus grise, ne contienne pas du carbone combiné, mais la fonte blanche peut être assez blanche pour être entièrement privée de carbone graphitique.

La manière d'être du carbone dans le fer après fusion complète est en grande partie déterminée par les circonstances de sa solidification et par la température à laquelle la fusion s'est effectuée. La solidification rapide favorise la faculté de retenir du carbone à l'état combiné, et par ce moyen, il est possible de convertir la fonte grise caractéristique en fonte parfaitement blanche. Ainsi, en versant de la fonte grise liquide dans un moule en métal froid, de manière à causer le refroidissement le plus prompt, la surface extérieure de la fonte solidifiée,

à l'endroit où elle est en contact direct avec le moule, passe à l'état de fonte blanche, tandis que l'intérieur demeure à l'état de fonte grise. On opère en grand, d'après ce principe, pour les *moulages en coquille*. On durcit ainsi les surfaces, la fonte blanche étant beaucoup plus dure que la fonte grise. On ne peut pas convertir toutes les fontes grises en fontes blanches ; les résultats de l'expérience suivante le démontrent :

Notre ami M. S.-H. Blackwell a bien voulu faire couler simultanément une portion de la fonte de l'un de ses hauts fourneaux, près de Dudley, sur une plaque de fonte froide, une autre portion sur une autre plaque semblable où il fit immédiatement projeter de l'eau ; et une troisième portion de la même coulée fut dirigée dans la fosse ou le « puits de chio, » où on la laissa refroidir très-lentement sous une grande masse de laitier chaud. Les deux premiers jets avaient 0m.015 d'épaisseur ; leur cassure était très-grenue : c'était de la fonte grise sans aucun indice de fonte blanche. L'autre jet, refroidi très-lentement, était de la fonte grise, mais très-cristalline.

Or, le mode d'existence du carbone est déterminé en certaine mesure par les conditions dans lesquelles on chauffe et on refroidit le métal à des températures bien inférieures à son point de fusion. Ainsi, on a constaté que l'acier trempé ne laisse pas de résidu sensible de graphite par l'action dissolvante des acides, et qu'au contraire, le même acier, à l'état doux, abandonne, après cette attaque, une quantité notable de résidu graphiteux. Le professeur Abel, de l'arsenal de Woolwich, a fait, il y a quelques années, une expérience à ce sujet ; il a trouvé que du fil d'acier trempé se dissolvait dans l'acide chlorhydrique, sans résidu ; au lieu que le même acier recuit laissait un résidu foncé, floconneux, charbonneux, après l'attaque par le même acide. Les expériences les plus récentes sont celles de M. Caron (1). Il a trouvé que l'acier à trois états

(1) *Comptes rendus*, t. LVI, p. 43 ; janvier 1863.

différents de cémentation, simplement cémenté, cémenté et martelé, cémenté et trempé, donnait, pour 100 parties de métal dissous, les proportions suivantes de résidu insoluble : 1.624 (A), 1.243 (B), et 0.240 (C). Ces résidus analysés contenaient :

	A.	B.	C.
Charbon.	0.825	0.560	Traces.
Fer.	0.557	0.445	Traces.
Silice.	0.242	0.238	0.240
	1.624	1.243	0.240

Il est remarquable que l'opération du martelage provoque par elle-même un changement dans la manière d'être du carbone dans l'acier. Mais M. Caron a observé que les aciers laminés, toutes choses égales d'ailleurs, laissent un résidu charbonneux plus considérable que les aciers martelés; ce qui est d'accord, d'après lui, avec la remarque que l'action du laminoir pour améliorer l'acier est moins puissante que l'action du martelage. M. Caron s'est convaincu par le même système d'épreuves et d'analyses que les effets de la chaleur sont sensiblement inverses de ceux produits par le martelage et la trempe. « Ainsi, de l'acier trempé ayant été recuit pendant un temps variant entre quelques heures et plusieurs jours, a donné après dissolution des quantités de charbon libre qui ont augmenté en même temps que la durée et l'intensité des chauffes; les aciers recuits ne reprennent leurs qualités primitives, ainsi que leurs propriétés chimiques en face des acides, qu'après le martelage et la trempe. » Quelque prolongé que soit le recuit, il reste toujours un peu de charbon combiné. M. Caron a pu vérifier cet effet après quinze jours et quinze nuits de recuit.

Nous avons maintenant à rechercher la preuve de l'existence du carbone à l'état de combinaison *chimique* dans le fer.

La fonte spéculaire ou *spiegeleisen* est toujours, comme son nom l'indique, très-cristalline : sa surface de cassure présente des plans de clivage brillants comme des miroirs. On la ren-

contre assez souvent en cristaux tabulaires entrecroisés de même qu'en cristaux massifs, mais le système auquel ils appartiennent ne paraît pas avoir été nettement établi : l'opinion la plus répandue veut que ce ne soit pas le système cubique. On a publié de nombreuses analyses de spiegeleisen, où le carbone entre pour environ 5 pour 100, comme s'il existait entièrement ou en grande partie à l'état combiné. Ce résultat correspond à la formule Fe^4C qui, d'après le calcul, donne 94.92 pour 100 de fer et 5.08 pour 100 de carbone. Aussi, cette variété de fonte est-elle souvent regardée comme un composé chimique défini. On peut néanmoins opposer à cette opinion que, dans toutes les analyses de fonte spéculaire publiées, le manganèse dose rarement moins de 4 pour 100 et parfois beaucoup plus. Malgré les relations chimiques qui existent entre le fer et le manganèse, on ne serait donc pas justifié à accepter la formule Fe^4C telle qu'on l'a établie, à moins de démontrer que la présence du manganèse n'est pas essentielle. La question est alors de savoir s'il existe des analyses sérieuses de fonte spéculaire ayant sans manganèse cette formule. Nous avons cherché en vain ces analyses, et tous les échantillons de fonte spéculaire *caractéristique* que nous avons examinés contenaient une proportion très-notable de manganèse. On trouve dans les ouvrages métallurgiques des assertions contraires. Ainsi, dans le tableau des analyses de fonte spéculaire du Manuel de Kerl (1), il y en a trois par Karsten où le carbone chimiquement combiné s'élève de 4.121 à 5.112 pour 100, et dans ces analyses, il n'est pas fait allusion à la présence même de traces de manganèse; pourtant Karsten indique expressément, en publiant ces analyses, qu'il n'a pas recherché le manganèse (2). Kerl cite une analyse par Schafhaütl d'un soi-disant *spiegeleisen* venant d'Alais, où le carbone serait entièrement à l'état combiné, dans la proportion de 5.80 pour 100,

(1) T. I, p 253; 1855.
(2) *Eisenhüttenkunde*, t. I, p. 592 ; 1841.

sans trace de manganèse; mais cet échantillon, nous dit-on, contenait 0.65 pour 100 de soufre, 1.86 pour 100 de silicium, 0.11 pour 100 d'aluminium, 4.05 pour 100 d'arsenic, et 0.87 pour 100 de nickel; elle n'offre donc aucune preuve à l'appui de la formule Fe^4C. Le spiegeleisen que Schafhaütl, dans son traité de l'acier, donne comme le type de cette variété de fonte, avait, selon lui, la composition suivante (1):

Fer	88.961
Carbone	5.440
Manganèse	4.003
Silicium	0.179
Azote	1.200
Cuivre	0.166
Etain	0.116
	100.065

M. Gurlt, dans un mémoire sur les composés de carbone et de fer, établit que l'on trouve rarement le spiegeleisen de la formule Fe^4C absolument pur (2). Il ne dit pas l'avoir vu à l'état de pureté, et l'on peut présumer qu'il ne l'a pas vu.

Bromeis conclut, il y a bien des années, que d'autres substances pouvaient, outre le carbone, communiquer au fer la propriété de cristalliser comme le spiegeleisen, et il écrit: « Si dans toutes ces analyses nous cherchons un substitut (au « carbone), nous le trouvons seulement dans la dose extraor-« dinairement élevée de manganèse qui, dans certains spiege-« leisen examinés par nous, atteignait 7 pour 100 (3). » Une belle variété de spiegeleisen allemand, analysé dans notre laboratoire par M. Tookey, contenait 11.12 pour 100 de manganèse et 4.77 pour 100 de carbone. T.-H. Henry a dosé 11.50 pour 100 de manganèse dans le spiegeleisen fabriqué avec de la franklinite des États-Unis et jusqu'à 6.90 pour 100 de carbone. M. Richter, de Leoben, en Styrie, a trouvé

(1) *Chemical Gazette*, t. XIV, p. 230; 1856.
(2) *Technologische Encyklopädie. Prechtl.*, t. XV, p. 364. *Stuttgard*, 1847.
(3) *Ann. d. Chem. u. Pharm.*, t. XLIII, p. 246.

dans un spiegeleisen de Jauerburg, en Carinthie, 7.578 pour 100 de manganèse et 1.902 pour 100 de silicium. Dans un autre échantillon de Theresienthal, en Bohême, le même chimiste a constaté 22.183 pour 100 de manganèse, 2.732 pour 100 de silicium et seulement 2.311 pour 100 de carbone. Il n'était pas attirable à l'aimant et ne précipitait pas le cuivre métallique d'une solution neutre de chlorure (CuCl), mais il le réduisait simplement en bichlorure (Cu^2Cl), qui se déposa (1).

Ces données permettent de nier l'existence d'un composé solide de la formule Fe^4C, mais elles semblent établir celle d'un composé solide de la formule $(Fe,Mn)^4C$, ou d'un composé dont la constitution se rapprocherait de cette formule, le rapport entre les équivalents de fer et de manganèse étant en nombres ronds de 20 à 1 environ. L'adjectif solide est employé à dessein, car on peut concevoir qu'un composé ayant à peu près la formule Fe^4C existe à l'état liquide. Au moment où le régule appelé *métal bleu* par les fondeurs de cuivre, se solidifie après fusion, il se sépare du cuivre métallique, qui, il y a tout lieu de le croire, se trouvait à l'état de combinaison chimique quand le régule était liquide. Lorsqu'on verse de l'iode sur de la limaille de fer portée rapidement au rouge dans un creuset de porcelaine, il y a combinaison; et le produit, après avoir été chauffé au rouge vif, dégage de l'iode par le refroidissement au-dessous du rouge. Un periodure de fer paraît se former et n'exister qu'à la température plus élevée; car après le refroidissement, il reste une masse grise lamelleuse qui est du proto-iodure de fer pur (2). Nous avons fait voir également que lorsque le fer pur est soumis à une température élevée, au contact du charbon pur en excès, il se produit une substance métallique relativement fusible, qui contient certainement, soit à l'état

(1) *Berg. u. Hüttenmännisches Jahrbuch*. G. Faller, XI, p. 295. *Wien*, 1862 (Continuation de Tunner's *Jahrbuch*).

(2) Wanklyn et L. Carius., *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LXIV, p. 484; 1862.

de combinaison chimique, soit à l'état de solution, de 4 à 5 pour 100 de carbone; et que ce carbone peut se séparer pendant la solidification à l'état connu sous le nom de *non combiné* ou de graphite. Maintenant, si nous envisageons l'infusibilité absolue du carbone à la température la plus élevée que nous ayons été capable de produire, et en outre le degré de fusion très-élevé du fer pur, il est permis de conclure avec raison que lorsque ces éléments s'associent pour former de la fonte si facilement fusible par rapport au fer pur, ils se combinent chimiquement ensemble.

S'il n'en est pas ainsi, le fait est, à notre avis, une anomalie sans précédent en chimie; admettons que cela soit, il ne s'ensuit pas nécessairement qu'un composé de fer et de carbone ne puisse pas jouir de la propriété de dissoudre simplement le carbone additionnel, et que, dans ce cas, la quantité de carbone augmente avec la température. Ceci expliquerait la production abondante de graphite, parfois en grandes plaques, qui apparaissent assez souvent dans nos hauts fourneaux. La température est beaucoup plus élevée à une certaine distance au-dessus du creuset, où la fonte liquide s'accumule, que dans le creuset lui-même. Une des conditions essentielles, on le sait, pour la formation de fontes très-grises, ou, en d'autres termes, de fer très-graphiteux, est l'élévation de température; l'autre condition est le contact étendu et relativement prolongé du fer réduit avec la matière charbonneuse; la première de ces conditions implique nécessairement la seconde à un degré plus ou moins grand.

Malgré les recherches dont la combinaison du fer avec le carbone a été l'objet, il reste encore beaucoup de points très-obscurs, surtout quant au fer graphiteux. Il est possible que le carbone, ainsi que Berzélius l'a insinué à l'occasion des différences entre certains composés isomères de carbone et d'hydrogène, etc., existe dans le fer sous les deux formes de carbone graphitique et de carbone amorphe, ou, comme il

les a distingués, de $C\beta$ et de $C\gamma$ (1); et qu'à une température très-élevée, la première de ces formes se produise. Nous n'avons pas trouvé cependant que, dans le spiegeleisen caractéristique refondu sous du verre pilé, à une température suffisante pour fondre le fer forgé, il y ait aucune séparation de graphite ou aucun changement notable dans les caractères extérieurs du métal. Selon M. Gurlt : « On sait par expérience que de la « fonte blanche peut se convertir en fonte grise, avec sépara- « tion de carbone à l'état de graphite, lorsqu'on l'expose à « un degré de chaleur bien supérieur à celui qu'exige sa fu- « sion ; du fer spéculaire (fonte) peut même être transformé « en fonte grise de cette manière (2). » Nous sommes certain que dans notre expérience le spiegeleisen avait été chauffé bien au delà de son point de fusion, sans se transformer pour cela en fonte grise.

Si nous admettons que le carbone existe dans le fer fondu sous les deux états de carbone amorphe et de carbone graphitique, nous devons naturellement nous demander si le carbone graphitique peut redevenir amorphe. Nous savons que celui-ci peut passer à l'état graphitique par l'action d'une chaleur intense. On pourrait peut-être résoudre la question en exposant des mélanges de fer pur et de graphite pur à des températures variables.

Berthier crut avoir découvert un carbure défini de fer, de la formule FeC, et c'est ainsi qu'il motive sa découverte (3) :

« Ayant mis à digérer de l'acier fondu cassé en morceaux « de 2 à 3 centimètres de longueur, dans de l'eau mêlée de « brome ou d'iode, en quantité insuffisante pour dissoudre « tout le fer, et ayant décanté les liqueurs au bout de quel- « ques jours, au moment où le brome et l'iode se trouvaient à « peu près saturés, les morceaux d'acier que l'on a retrouvés

(1) *Traité*, t. I, p. 264.
(2) *Chemical Gazette*, t. XIV, p. 234; 1856.
(3) *Ann. des Mines*, 3e série, t. III, p. 229.

« au fond du vase avaient conservé leur forme et leur appa-
« rence primitives, et il semblait qu'ils n'eussent éprouvé au-
« cune altération ; mais on a bientôt reconnu qu'ils avaient
« au contraire été fortement attaqués. Ils conservaient bien
« quelque consistance, mais ils se cassaient entre les doigts
« comme des morceaux de charbon ; ils étaient compactes, à
« cassure grenue, fine et serrée comme de l'acier et d'un gris
« noir un peu métalloïde : ils tachaient le papier en gris comme
« la plombagine ; on aurait pu les employer comme crayons ;
« en grattant ces morceaux avec un canif, il est resté une partie
« solide en forme d'aiguille et qui en occupait l'axe, c'était de
« l'acier intact. La portion attaquée, traitée de nouveau par le
« brome ou par l'iode, s'est convertie en carbone pur et il
« s'est dissous du fer, c'était donc du carbure de fer. Or l'ana-
« lyse a fait voir que ce carbure se compose exactement d'un
« atome de chacun de ses éléments, ou de 81.7 pour 100 de fer
« et de 18.3 pour 100 de carbone. Il est magnétique et com-
« plétement attaquable par le brome, l'iode et l'acide muria-
« tique, mais seulement lorsqu'il est isolé : au contact du fer,
« celui-ci se dissout de préférence et le préserve. Quand on
« traite des morceaux d'acier par du brome ou de l'iode, ils se
« transforment peu à peu en carbure FeC ; cette transformation
« se propage peu à peu de la surface à l'intérieur par voie de
« cémentation, et tant qu'il reste de l'acier non altéré au centre,
« le carbure dont cet acier se trouve enveloppé est homogène
« et ne renferme pas moins d'un atome de fer pour un atome
« de carbone, même à la surface ; mais aussitôt que les der-
« nières traces d'acier sont détruites, le carbure cède lui-même
« à l'action du brome ou de l'iode, il abandonne tout son fer
« et il se transforme en carbone pur, si le dissolvant est em-
« ployé en proportion suffisante. »

Il ne paraît pas que la conclusion de Berthier ait jamais été vérifiée ; une seule observation de cette nature ne saurait être regardée comme satisfaisante. Le fait, que le résidu inso-

luble avait la composition de la formule FeC, peut avoir été le résultat d'une coïncidence accidentelle. Il n'est pas établi que ce résidu ait identiquement la même composition dans toutes les parties de la masse ; et quand même cette preuve aurait été donnée, il ne s'ensuivrait pas nécessairement que le monocarbure préexistait dans l'acier. M. Caron a vainement essayé d'obtenir le carbure défini de Berthier, par l'action dissolvante du brome ou de l'iode sur l'acier. Dans chaque essai, ce prétendu carbure de fer variait de composition, non-seulement suivant la qualité des aciers et la nature des dissolvants employés, mais encore d'après la forme et la dimension des échantillons : d'où M. Caron conclut que le carbure de Berthier n'était probablement qu'un mélange de carbone et de métal, où ce dernier se trouvait mécaniquement protégé par le carbone contre l'action dissolvante (1).

Berzélius a admis l'existence de carbures de fer ayant les formules FeC^2 et Fe^2C^3 (2). La méthode qu'il a recommandée comme la meilleure pour obtenir le premier de ces composés à l'état de pureté, est la distillation dans une cornue du ferrocyanure d'ammonium. Le cyanure d'ammonium et l'eau passent d'abord ensemble, puis l'azote se dégage. Si, vers la fin de l'opération, le carbure de fer qui reste est chauffé au rouge, il prend feu et paraît brûler pendant un instant comme s'il était dans du gaz oxygène ; mais ce phénomène ne dure pas. Si une partie de cyanure de fer n'avait pas été décomposée, il se décomposerait par cette élévation rapide de température, et l'azote se dégagerait avec violence. D'après Berzélius, ce phénomène lumineux a la plus grande analogie avec celui qu'on

(1) *Comptes rendus*, t. LVI, p. 44 ; janvier 1863.

(2) *Traité*, t. II, p. 692. Voir aussi l'édition de 1831, t. III, p. 270. Il y a une erreur importante dans la nouvelle édition, qui ne se trouve pas dans la première. Il est dit relativement au phénomène incandescent : « *comme du gaz oxygène* » au lieu de : « *comme dans du gaz oxygène.* » Le passage du Manuel de Gmelin, traduit par la société Cavendish, où l'on décrit le procédé pour faire du carbure de fer, nous paraît inintelligible (t. VII, p. 432) : « Quand on chauffe (du ferrocyanure d'ammonium) plus fortement au contact de l'air, il « devient brun, puis il se convertit en bicarbure de fer noir, qui a une température encore « plus élevée, émet de la lumière et brûle comme de l'amadou s'il est chauffé à l'air, etc. »

observe quand on chauffe du sesquioxyde hydraté de fer, et « il serait causé par ce fait que le carbure de fer passe d'une « modification isomère à une autre. » Le carbure de fer ainsi obtenu est décrit comme une poussière noire, incohérente, qui prend feu quand on la chauffe doucement et brûle comme du bois, en abandonnant un résidu de sesquioxyde de fer d'un poids égal au sien. On prépare le carbure de fer de la formule Fe^2C^2, en chauffant de la même manière du bleu de Prusse pur; de l'eau, un peu de cyanure d'ammonium et beaucoup de carbonate d'ammoniaque passent à la distillation, et il reste dans la cornue le carbure, qui produit le même phénomène de lumière que celui déjà décrit. Liebig et Gerhardt (1) admettent que ces résidus sont des combinaisons de carbone et de fer, mais d'autres chimistes n'y voient que des mélanges de carbone et de fer légèrement carburé. Robiquet partage cette dernière opinion et cite à l'appui le fait peu concluant que les résidus sont très-magnétiques, se rouillent facilement à l'air humide et que les acides dissolvent promptement le fer contenu (2). Le phénomène de lumière est digne d'attention, et l'azote pourrait bien y jouer un rôle important, puisque M. Wöhler a démontré que le titane brûlait dans ce gaz avec une grande incandescence. Ces prétendus carbures de fer exigent et méritent d'autres études; on devrait surtout y chercher l'azote.

On avait conclu des expériences de Karsten sur l'attaque par les acides de certaines variétés de fer contenant du carbone, qu'il existait dans le résidu insoluble un carbure défini de la formule FeC^3; et ce composé a souvent été décrit dans les traités de chimie et de métallurgie (3). Dans le mémoire de Karsten auquel nous avons fait allusion et qui date de 1846, cinq ans après la deuxième et dernière édition de son ouvrage sur la métallurgie du fer, l'auteur, comme

(1) *Traité de Chim. organ.*, t. I, p. 157; 1840. *Traité de Chim. organ.*, t. I, p. 326; 1853.
(2) Berthier, *Traité*, t. II, p. 209.
(3) Voir *Manuel de Gmelin*, t. V, p. 203.

nous l'avons vu, déclare qu'il n'y a pas de preuve satisfaisante de l'existence de ce carbure; Bromeis nous a également appris qu'il n'avait jamais réussi à obtenir un composé défini de carbone et de fer par l'action dissolvante des acides; comme il n'y a pas eu d'autre preuve, que nous sachions, le carbure en question ne saurait être admis. Mais son existence eût-elle été démontrée, qu'il ne s'ensuivrait pas, ainsi que nous l'avons fait remarquer relativement au monocarbure de fer de Berthier, qu'il préexiste dans le fer.

M. Gurlt admet comme démontrée l'existence d'un tétracarbure de fer pur (Fe^4C), et maintient également celle d'un octocarbure, Fe^8C, qu'il aurait été le premier à reconnaître (1). « Il se distingue du tétracarbure, non-seulement par sa « composition chimique, mais encore par sa forme cristalline « très-distincte et par d'autres propriétés physiques. » Il appartient au système régulier ou cubique, et se rencontre presque toujours « en groupes confus octaèdres, avec plans mal « définis, mais avec des angles souvent vifs. » Il a analysé un morceau de fonte cristallisée de Gleiwitz, dans la Haute-Silésie, provenant du noyau d'un canon de fonte et dont voici la composition :

Carbone combiné	2.46
— graphitique	2.84
Silicium	0.26
Fer	94.20
Soufre et phosphore	Traces.
	99.76

Il admet qu'une petite portion du carbone combiné est remplacée par du silicium, et la constitution rationnelle du métal s'exprimerait, dans sa pensée, par les formules suivantes :

Fe^8C	94.008
Fe^8Si	2.920
Graphite	2.840
	99.768

(1) *Chemical Gazette*, t. XIV, p. 230 et suiv.; 1856.

« Dans les composés précédents, écrit-il, le carbone est « au fer comme 1:37.3, et dans le dernier, le silicium se « trouve dans le rapport de 1:10.0, ce qui s'accorde de « très-près avec la composition fournie par le calcul; et « comme l'octocarbure prédomine dans ce composé, on « est pleinement autorisé à le décrire comme un octocar- « bure. »

Il lui assigne les caractères suivants : densité 7.15; couleur gris de fer; beaucoup moins dur, moins cassant et moins fusible que le tétracarbure, conservant l'empreinte du marteau quand il est frappé. On le rencontre souvent dans les cavités des grosses pièces de fonte grise moulée, tels que les cylindres de laminoir et les canons. Les cristaux se présentent ordinairement en pyramides, irisées de deux lignes de large; mais ces cristaux, ajoute M. Gurlt, ne doivent pas être confondus avec ceux du fer doux malléable, qui se forment parfois pendant l'affinage et le puddlage, car « ils ne contiennent pas de carbone et sont tellement exempts de matières étrangères, qu'on peut les regarder comme du fer presque chimiquement pur. »

Telles sont, d'après M. Gurlt, les preuves de l'existence de l'octocarbure de fer. Or, nous savons que le fer cristallise dans le système cubique, et, de plus, qu'un corps peut contenir une forte proportion de matières étrangères, et néanmoins cristalliser encore avec beaucoup de netteté dans son propre système. Comment démontrer alors que ces prétendus cristaux d'octocarbure de fer sont autres que les cristaux de fer imprégnés de graphite et d'un carbure de fer et différant à coup sûr d'un octocarbure? Aucune démonstration n'a été produite, et jusque-là nous ne pouvons refuser d'admettre l'octocarbure, bien que nous ne nions pas l'existence d'un pareil composé comme possible ou probable. M. de Carnall a trouvé des octaèdres dans une soufflure de roue en fonte truitée et à grain fin, et il leur a attribué la même composition qu'au

métal environnant (1); M. Hausmann assure que dans de la fonte blanche ordinaire (différant du spiegeleisen), soumise pendant longtemps à une température élevée, il a trouvé des cristaux pareils à ceux qui se produisent dans la fonte grise. Après ce traitement, le métal avait dans toute la masse la même cassure rugueuse et lamelleuse « à lames rectangulaires à trois faces, » que le fer forgé soumis aux mêmes conditions (2).

En résumé, M. Gurlt paraît admettre que la fonte grise est un octocarbure mêlé de graphite; que la fonte spéculaire, c'est-à-dire le fer combiné avec le maximum de carbone, est un tétracarbure, et que la fonte truitée est un mélange des deux. Il croit que le tétracarbure qui se forme à une température relativement basse, se résout à une température plus élevée en octocarbure et en graphite, et il en conclut que probablement l'octocarbure résulte toujours du tétracarbure. On remarquera, à propos de ces opinions, qu'il n'y a pas jusqu'à présent de preuve satisfaisante de l'existence de l'octocarbure de fer pur solide, admis par M. Gurlt, et que quant à la conversion du spiegeleisen manganésé en fonte grise, par l'effet d'une température bien plus élevée que le point de fusion du spiegeleisen, ce fait demande à être confirmé. Il se peut que nous n'ayons pas réussi, pour n'avoir pas maintenu le spiegeleisen à une température élevée pendant un temps suffisant; car M. Gurtl indique que la décomposition du tétracarbure peut être incomplète « si la température n'est pas assez prolongée; » mais cela ne nous paraît pas probable. Si les assertions de M. Gurlt étaient fondées, il semblerait résulter que le carbone peut exister même dans la fonte liquide, sous les deux états amorphe et graphitique; on ne concevrait pas autrement pourquoi le graphite se séparerait du spiegeleisen pendant la solidification, — le spiegeleisen ayant été sim-

(1) *L. u. K. Jahresb.*, suite; 1859, p. 202.
(2) *Jahresbericht*, suite de Liebig et Kopp, p. 189; 1858.

plement porté à un degré de chaleur plus élevé que son point de fusion, — tandis qu'il ne s'en séparerait pas de la même fonte pendant sa solidification, après qu'elle a été fondue à son point ou un peu au-dessus de son point de fusion. La théorie de M. Gurlt a certainement le mérite de la simplicité; en effet, la différence de température explique tout; mais pour avoir de la valeur, la simplicité doit s'appuyer sur la vérité, et nous ne pouvons affirmer avec certitude qu'il en est ainsi de la théorie en question, qui, en outre, n'a pas une grande originalité, puisque dans la plupart de ses points essentiels, elle ressemble à celle que Karsten avait formulée longtemps auparavant.

M. Gurlt accompagne son mémoire sur les composés du carbone et du fer d'une série d'analyses de diverses variétés de fonte, dont il essaye d'établir la composition rationnelle. La première de la série est une analyse par Karsten de spiegeleisen produit avec du minerai spathique; elle est ainsi donnée (1):

Carbone.	5.112	Fe^4C	Fe.	94.188	99.300
Soufre.	0.001		C.	5.112	
Fer.	94.887	Fe^8S	Fe.	0.014	0.015
Cuivre.	Traces.		S.	0.001	
	100.000			99.315	

Le lecteur jugera lui-même, en la comparant à la copie textuelle tirée du tableau des analyses des diverses variétés de fonte par Karsten, si cette analyse a été correctement citée (2).

PROVENANCE.	CARBONE non combiné.	CARBONE combiné.	CARBONE total.	Soufre.	Phosphore	Silicium.	Manganèse.	Cuivre.
9. De Saynerhütte......	+ +	5.1117	5.1117	0.001	+	+	+	+

(1) *Chemical Gazette*, t. XIV, p. 255.
(2) *Eisenhüttenkunde*, t. I, p. 592.

Le signe (+) indique que la substance n'a pas été recherchée, et le signe (++) qu'elle l'a été inutilement. On remarquera de suite que les 94.887 pour 100 de fer sont une simple hypothèse de M. Gurlt et que le manganèse n'avait pas même été recherché par Karsten : tous autres commentaires sont inutiles. M. Gurlt cite des analyses de fontes écossaises à l'appui de ses vues. Il s'est servi de chlorure d'argent pour réactif, et il en a obtenu un résidu insoluble, selon lui, composé d'argent, de graphite, de carbone et de silice (1). Le poids de ce résidu étant déterminé, il en fit bouillir une portion avec de la soude caustique, qui dissout « la silice et le carbone chimiquement combiné » etc.; ce dernier fut évalué par différence. Or, la solution du carbone pur serait un fait nouveau en chimie; mais il sera démontré que ce que M.Gurlt regardait comme du carbone pur ne l'était pas, de sorte que, jusqu'à preuve du contraire, ses analyses sont erronées.

Le lecteur reconnaîtra à cet exposé le peu d'étendue de nos connaissances sur le mode d'existence du carbone dans le fer et sur ses causes. Les inductions de Karsten et d'autres chimistes à ce sujet si important nous paraissent plus ou moins défectueuses, par ce fait, que les données sur lesquelles elles s'appuient résultent d'observations et d'expériences sur les variétés de fer carburé du commerce, qui ne consistent pas exclusivement en carbone et en fer, mais qui contiennent toujours des proportions sensibles d'autres éléments, tels que le soufre, le phosphore et le silicium. Que la présence de ces éléments, séparés ou réunis, ne soit pas sans influence, nous allons le démontrer. C'est seulement en opérant sur du fer pur et du carbone pur que nous pouvons espérer obtenir des résultats tout à fait exempts d'erreur; ceux qui ont fait des expériences dans cette direction sauront seuls apprécier les difficultés qu'elles présentent : heureusement il n'y a au-

(1) *Chemical Gazette*, t. XIV, p. 259.

cune raison de supposer qu'elles soient insurmontables. Nous appellons surtout l'attention du lecteur désireux de résoudre des problèmes métallurgiques utiles, sur les questions qui se rattachent aux combinaisons du carbone et du fer.

Suivant Karsten, la température est tout; il n'y a pas de doute qu'elle ne joue un rôle considérable sur la manière d'être du carbone dans le fer; mais qu'elle soit l'agent exclusif, comme il le soutient, c'est un point qui mérite d'être approfondi. Nous présenterons, aussi succinctement que possible, l'ensemble de ses déductions, avec nos propres commentaires, en cherchant à traduire fidèlement le langage dans lequel l'auteur les a exprimées (1).

Lorsqu'on laisse refroidir de la fonte blanche après fusion, le plus lentement possible, elle ne se convertit pas en fonte grise, à moins qu'elle n'ait été fondue à une température beaucoup plus élevée que celle exigée pour l'amener à l'état fluide. Par cette variation de température et proportionnellement à la lenteur avec laquelle la solidification a lieu, on a de la fonte blanche, truitée ou grise. Une variété poreuse de fonte blanche que les Allemands appellent *luckige Floss* et de l'acier très-riche en carbone, peuvent, comme la fonte blanche, se convertir en fonte grise, en les maintenant pendant quelque temps en fusion dans un creuset d'argile à une température très-élevée, et en les laissant ensuite se solidifier lentement avec précaution. Si la température n'a pas été assez élevée, il ne se produit que de la fonte grise douce, ne contenant pas de carbone non combiné ni de carbone graphitique, mais seulement un polycarbure; c'est-à-dire que le carbone ne se combine pas avec tout le fer, mais qu'il existe à l'état de carbure (sa composition inconnue lui a fait donner le nom de polycarbure), mêlé avec du fer relativement pur ou plutôt avec du fer ne tenant que peu de carbone. Ce polycarbure se forme,

(1) *Eisenhüttenkunde*, t. I, p. 577 et suiv.; 1841.

bien qu'en quantité moindre que celle déjà mentionnée, en chauffant simplement au rouge et en laissant refroidir lentement ; il reste dans ce cas plus de carbone combiné dans toute la masse de fer. C'est pourquoi l'acier trempé est d'autant plus doux, qu'il a été chauffé plus fortement et plus longtemps. La fonte blanche, avec la cassure caractéristique de la fonte spéculaire, chauffée au rouge et totalement refroidie à l'abri de l'air, ne se transforme pas en fonte grise et douce contenant du polycarbure, sans doute parce que c'est un produit neutre et que le fer et le carbone sont à l'état de combinaison réciproque et de saturation. Pour être converti en *fonte grise*, ce fer doit nécessairement être soumis à une température de fusion inversement proportionnelle à celle nécessitée pour la simple liquéfaction.

Au contraire, quand on veut durcir et blanchir par un changement brusque de température l'acier doux ou le fer forgé recuit au rouge et contenant encore une quantité notable de carbone, celle-ci (bien que la température au rouge suffise) devra être d'autant plus élevée, et, par conséquent, le changement de température par un refroidissement subit devra être d'autant plus grand, que la proportion de carbone dans le fer sera plus petite. Pour la fonte grise, le carbone présent à l'état non combiné ne joue aucun rôle dans la conversion ; c'est donc de la quantité de carbone combiné dans cette variété de fonte que dépendra sa dureté, c'est-à-dire, si celle-ci après avoir été chauffée au rouge augmentera beaucoup par le refroidissement brusque. En maintenant longtemps de la fonte grise graphiteuse à une chaleur plus forte, mais inférieure à son point de fusion, elle se transforme plus ou moins complétement en fonte grise douce, qui devient par le refroidissement immédiat, beaucoup plus dure et plus blanche ; elle reste douce par le refroidissement lent, bien qu'elle contienne beaucoup de polycarbure et peu de graphite ; c'est là un résultat d'un genre particulier qui ne peut être atteint en chauffant ra-

pidement au rouge. Dans ce cas, le graphite ou le fer carburé remplit le même rôle que le carbone dans la conversion en acier d'une barre de fer par cémentation; par ce procédé, la fonte grise peut être substituée au carbone. Si l'on veut transformer de la fonte grise en fonte blanche par un refroidissement soudain, on ne devra pas la fondre à une température bien supérieure à celle de son point de fusion. Plus elle contient de graphite, plus le changement s'opère vite par la solidification subite. La fonte grise qui renferme peu de graphite, se prête très-difficilement à cette conversion, par la raison que cette espèce de fonte exige pour fondre une très-forte chaleur, qui ne peut être enlevée assez vite et assez complétement par la solidification immédiate.

Cette théorie de Karsten est ingénieuse; mais il importe de se rappeler qu'elle repose sur l'existence présumée d'un polycarbure de fer qu'il ne parvint pas à isoler ni à préparer, et dont il regardait la composition comme douteuse. Que le fer et le carbone se combinent chimiquement, personne, à notre avis, n'en doute; s'il en est ainsi, et si la théorie des proportions définies est vraie, il faut qu'il y ait au moins un composé défini de ces éléments — et il peut y en avoir plusieurs — capable de dissoudre le fer ou d'être dissous par lui. Il est vrai que le point de fusion du fer pur est beaucoup plus élevé que celui du métal sensiblement carburé. Cependant il n'y a pas de raison pour que les métaux fassent exception quand ils sont à l'état liquide; ainsi, le mercure, qui est fluide à la température ordinaire, liquéfie immédiatement l'argent, l'or et le cuivre; et la différence entre les points de fusion du mercure et de ces métaux est proportionnellement bien plus considérable qu'entre les points de fusion du fer carburé et du fer pur. Le plomb fondu dissout aussi très-activement l'argent, et l'on peut citer beaucoup d'autres exemples. Toutefois, il y a dans tous ces cas action chimique en même temps que dissolution. Des composés définis

ou des alliages se forment tout d'abord et se dissolvent dans l'excès de mercure ou de plomb fondu. On peut objecter que dans ce cas l'analogie n'est pas justifiée, parce que le fer carburé n'est pas un métal mais un composé métallique. Pourtant, en réfléchissant bien à ce phénomène de solution d'une manière générale, nous ne nous sentons guère disposé à attacher beaucoup d'importance à cette objection.

Les faits et les opinions que nous avons passés en revue, à l'égard des manières d'être du carbone dans le fer, peuvent se résumer ainsi :

Le carbone peut exister dans la fonte pure en fusion, à un tel état, que, pendant la solidification et dans les conditions ordinaires, il se sépare tout entier ou presque entièrement sous forme de graphite répandu dans la masse solide du métal ; la preuve en est fournie par l'analyse chimique ; elle sera examinée plus loin. Le fer se dissout par l'action des acides, et le carbone graphitique s'obtient quelquefois en plaques de dimensions considérables comme résidu insoluble. Mais on peut se demander, en supposant que le carbone puisse réellement se combiner avec le fer et qu'il garde son caractère allotropique quand il est ainsi combiné, si le fait du carbone graphitique abandonné par l'action dissolvante des acides est une preuve positive que ce carbone présent dans le métal solidifié était, au moins pour une certaine partie, en combinaison chimique avec le fer. Il n'y a pas de doute que le graphite puisse être séparé en paillettes, quoique, d'après notre propre expérience, elles retiennent encore, sous une forme ou sous une autre, du fer qu'il est difficile de dissoudre complétement. En outre, le graphite n'est pas toujours obtenu en paillettes distinctes. D'ailleurs, en examinant avec soin la surface de cassure d'un morceau de fer même très-graphiteux, chaque partie offre plus ou moins l'éclat graphitoïde caractéristique, sans que toutefois on puisse en détacher une parcelle avec la pointe d'un outil.

Dans le fer graphiteux en fusion, le carbone doit être tout entier en combinaison chimique ou en dissolution.

Une température élevée paraît nécessaire pour obtenir du fer graphiteux.

Une solidification lente après fusion est la condition favorable à la séparation du carbone graphitique en lamelles ou paillettes. En acceptant, pour notre raisonnement, l'existence hypothétique du carbone à l'état de graphite, dans la fonte grise en fusion, et en admettant que cette fonte puisse se convertir en fonte blanche par un refroidissement subit (ce qui ne nous paraît pas avoir été démontré expérimentalement dans le cas de la fonte grise pure, c'est-à-dire consistant en fer pur et en carbone pur), cette fonte blanche constituerait une variété spécifique.

Le carbone peut exister à un tel état, dans la fonte en fusion ou dans l'acier, que, pendant la solidification effectuée rapidement, le carbone graphitique ne puisse pas être révélé par l'action dissolvante des acides sur le métal solide, qui possède alors les propriétés caractéristiques de ce qu'on appelle la fonte blanche. Cette variété de fer, assure-t-on généralement, ne se produit qu'à une température basse, relativement à celle qui donne la fonte grise ou graphiteuse. Mais jusqu'ici, à moins de nous tromper, toutes les expériences et les observations ayant trait à cette variété de fonte, sont d'autant moins concluantes, qu'elles n'ont pas été faites sur du métal composé de fer pur et de carbone pur. Supposons qu'elles soient concluantes, ce qui pourra être prouvé plus tard, il semblerait que tout le carbone peut être présent dans le métal solide à l'état de diffusion mécanique, ou de combinaison chimique, ou, suivant Karsten, en combinaison chimique avec une partie seulement du fer — qui constituerait alors un carbure défini d'une formule inconnue (polycarbure) — le reste du fer ne retenant qu'une très-petite quantité de carbone ou pas du tout.

La solidification lente à une température relativement basse

est, d'après le même observateur, la meilleure condition à la formation et à la séparation de ce soi-disant polycarbure, de même que la solidification lente à une très-haute température favorise dans la fonte grise la séparation du carbone graphitique. En l'exposant au rouge, c'est-à-dire bien au-dessous du point de fusion de la fonte, le polycarbure, censé présent dans le fer solide, peut être détruit; ou, en d'autres termes, le fer à l'état libre peut se combiner avec le polycarbure et former une masse métallique homogène, pourvu que le métal soit ensuite refroidi subitement. Réciproquement, en réchauffant cette masse au rouge et la refroidissant ensuite lentement, le polycarbure peut se reproduire.

Le carbone de cette variété de fonte peut, par l'action de températures très-élevées, suppose-t-on, se trouver à l'état de carbone amorphe et se transformer en carbone graphitique. C'est avec intention que nous disons, *suppose-t-on;* car, dans l'état actuel de nos connaissances métallurgiques, on ne saurait employer d'autre expression.

Que le carbone existe sous forme de graphite dans la fonte grise en fusion, on ignore encore si, dans certaines conditions, il peut revenir à l'état de carbone amorphe.

Les observations suivantes de Karsten ont trait au sujet qui nous occupe et méritent l'attention des hommes pratiques (1).

Lorsqu'on chauffe de la fonte grise bien au-dessus de son point de fusion et qu'on la verse dans un moule mauvais conducteur de chaleur, la surface de cassure du lingot froid ne présente guère de différence dans l'aspect de toutes ses parties. Néanmoins, Karsten s'est assuré, par de nombreux essais, que le cœur du lingot contenait toujours moins de carbone, mais plus de graphite que le métal de la surface. Cette différence serait causée par la composition du polycarbure dont il admet l'existence dans certaines parties du lingot. Le mé-

(1) *Eisenhüttenkunde*, t. I, p. 581.

tal de la surface contenait, outre du graphite, le polycarbure particulier à la fonte blanche et à l'acier trempé ; tandis que le polycarbure du cœur était plus riche en carbone et correspondait à celui de la fonte blanche recuite et de l'acier recuit. La fonte à l'état liquide, remarque-t-il, est une combinaison chimique uniforme ; il serait difficile de le nier. Il explique les différences de composition du lingot solide, parce que pendant la solidification, il a été maintenu plus longuement à une température élevée dans la portion centrale que dans la portion extérieure. Il attribue à cette même cause la différence des résultats du dosage de carbone, lorsque différentes parties d'un même morceau de fonte sont analysées avec le plus grand soin ; et il en conclut que la ténacité du métal varie conséquemment dans les différentes parties du même moulage. Même dans les fontes en coquille, la fonte blanche contient plus de carbone à la surface que le noyau intérieur ; mais si la solidification a été lente, la couche extérieure contient souvent plus de 1.75 pour 100 de carbone que la partie centrale. L'expérience suivante de Karsten est citée comme exemple (1) :

De la fonte grise qui, avant d'être refondue dans un fourneau à réverbère, avait une densité de 7.1839 et contenait 4.0281 pour 100 de carbone, dont 3.2469 à l'état de graphite et 0.7812 à l'état combiné, fut jetée dans un moule épais de fonte. La surface de la fonte moulée était, sur 0^{m}.025 d'épaisseur, blanche et aussi dure que de l'acier ; on en préleva une partie ainsi qu'une partie de la fonte douce et grise du cœur du lingot. La fonte blanche avait à la surface une densité de 7.5467 et contenait 5.0929 pour 100 de carbone entièrement à l'état combiné. La fonte grise de l'intérieur pesait 7.1753 et renfermait 3.8047 pour 100 de carbone, dont 3.1941 non combiné et 0.6106 combiné.

(1) *Eisenhüttenkunde*, t. I, p. 583.

De l'action du silicium sur du fer contenant du carbone. — Ce sujet jouit d'un vif intérêt pratique. D'après les relations chimiques intimes qui existent entre ces deux éléments, on est tenté de croire avec raison qu'ils peuvent, du moins en certaines limites, se substituer l'un à l'autre. Pour que la silice se réduise par le fer en présence du carbone, il faut absolument une température élevée, celle qui favorise essentiellement la formation du fer graphiteux. Aussi, est-ce dans cette variété de fonte qu'on trouve généralement la plus forte proportion de silicium. Mais il y a des cas, comme nous l'avons vu, où le silicium contenu dans la fonte excède 6 pour 100; ces cas sont tout à fait exceptionnels. La fonte à 4 ou même à 6 pour 100 de sicilium ressemble encore par la cassure à de la fonte grise. On a depuis longtemps observé, et Sefström le premier, que dans la fonte grise, le carbone tenant beaucoup de sicilium, soit de 2 à 3 pour 100, est entièrement, ou à peu près, à l'état graphitoïde. De nombreuses analyses, qu'on trouvera plus loin, laisseront ce point hors de doute. Il ne s'ensuit pourtant pas que le silicium déplace le carbone ; car, on a remarqué que pendant la solidification de la fonte grise caractéristique, le carbone peut se séparer complétement ou à peu près, sous forme de graphite.

Une des questions qui s'offrent tout d'abord à notre examen, est celle-ci : Le silicium peut-il se séparer, comme le graphite, pendant la solidification de la fonte grise qui le contient? Henry nous a informé qu'il avait obtenu des preuves positives de cette séparation, et nos propres observations nous ont depuis conduit à la même conclusion.

Action du soufre sur le fer renfermant du carbone. — D'après Karsten, le soufre, à une température élevée, expulse le carbone du fer. Quand du fer renferme la quantité maximum de carbone, du spiegeleisen par exemple, est fondu avec du soufre dans un creuset d'argile couvert, le carbone se sépare et se réunit au bas du culot de sulfure de fer qui en résulte ; il res-

semble à de la suie ; il n'a pas d'éclat, brûle dans le moufle avec difficulté, mais sans résidu ; Karsten le regardait comme une variété de graphite terne. Lorsqu'on verse de la fonte en fusion ne contenant pas le maximum de carbone, sur du soufre en quantité insuffisante pour sulfurer tout le fer, on trouve sous la couche de sulfure un résidu de fonte plus riche en carbone que primitivement. Ainsi, de la fonte grise avec 3.312 pour 100 de carbone non combiné, 0.625 pour 100 de carbone combiné et 0.029 pour 100 de soufre, a donné, par sa conversion partielle en sulfure, de la fonte blanche avec des clivages à facettes, qui contenaient 5.488 pour 100 de carbone chimiquement combiné et 0.446 pour 100 de sulfure; elle était recouverte d'une couche de sulfure de fer (1). En ajoutant du soufre à la fonte en fusion, le carbone augmente dans le fer non sulfuré jusqu'à ce qu'il atteigne le maximum; et par une plus forte addition de soufre, du carbone pulvérulent se sépare, ainsi qu'il vient d'être dit. Un point très-remarquable dans cette expérience de Karsten, expérience qui mérite une attention particulière, c'est la très-grande proportion du carbone combiné dans le fer après le traitement par le soufre. Dans les expériences précédentes, où les conditions étaient favorables à la production de fonte avec le maximum de carbone, ce dernier paraissait exister dans le fer solidifié presque entièrement à l'état de graphite. Ce fait ne peut s'expliquer, d'après notre expérience, qu'en supposant une extrême rapidité de refroidissement dont il n'est pas fait mention. On se demande naturellement alors, si le soufre en certaines proportions, a le pouvoir de maintenir le carbone à l'état combiné, pendant la solidification après fusion ?

M. Janoyer a publié sur l'influence directe du soufre sur la fonte (2) un mémoire où il annonce qu'antérieurement à lui

(1) Voir *Handb. der Eisenhüttenk.*, Karsten, t. I, p. 427 ; 1841.

(2) *Ann. des Mines*, 4e série, t. XX, p. 359-366. *Recherches sur l'influence du soufre sur la nature des fontes*, par M. Janoyer.

aucun ouvrage de métallurgie n'a déterminé « le mode d'action du soufre, » dans les circonstances qui l'ont conduit à entreprendre ses recherches. Cette assertion semble indiquer une ignorance complète des travaux de son prédécesseur Karsten, ainsi qu'un oubli de la part des éditeurs des *Annales des Mines*. M. Janoyer fit fondre de la fonte grise avec de petites quantités de pyrite de fer et s'assura qu'il y avait une perte de carbone due à la formation et à la volatilisation du bisulfure de carbone. La fonte grise sur laquelle il opéra, contenait 0.09 pour 100 de soufre. Dans un essai, il traita cette fonte avec 2 pour 100 de pyrites de fer, et dans un autre avec 1 pour 100. « Lorsque la matière fut fondue très-liquide, je « découvris, dit-il, le creuset, et j'aperçus des globules bril- « lants, d'un blanc plus intense que le métal fondu, qui se dé- « gageaient entre les parois du creuset et le culot métallique, « et disparaissaient au contact de l'air, en produisant en ce « point un abaissement de température très-notable. Lorsque « le dégagement eut cessé, je laissai refroidir très-lentement la « fonte dans le creuset qui avait servi à la fusion, pour être sûr « que le blanchiment ne provenait pas d'un refroidissement « trop brusque. Malgré cette précaution, la fonte qui jusque-là « était restée tranquille, à surface unie, s'entr'ouvrit vivement « en tous sens, fit entendre une forte décrépitation, se couvrit « d'une croûte rugueuse qui se sépara en partie du métal et pré- « senta en tous points les caractères d'une fonte grenue, produite « par une carburation incomplète dans une mauvaise allure. « Cassées, ces fontes des deux expériences étaient blanches, et « d'autant plus blanches que la proportion des pyrites était plus « grande ; elles étaient excessivement dures, une lime en acier « fondu ne pouvait les entamer. » La fonte de la première expérience tenait 0.87 pour 100 de soufre, soit une perte de 28 pour 100, et celle de la deuxième expérience renfermait 0.46 pour 100 de sulfure, correspondant à une perte de 0.16 pour 100. Il n'est pas fait mention de la séparation du carbone pul-

vérulent. Les essais furent évidemment entachés d'erreur, car les creusets n'avaient pas été couverts et le produit fondu était resté exposé à l'action de l'air.

M. Janoyer a répété les essais déjà faits par Berthier, afin de démontrer qu'il n'y a aucune déperdition de soufre en fondant de la limaille de fer doux décapé avec de la pyrite de fer « Pour « éviter une légère oxydation par l'air qui aurait pu arriver « dans le creuset, dit M. Janoyer, je le couvris d'un morceau de « coke. Lorsque toute la masse fut arrivée au blanc soudant, « je découvris le creuset pour voir si dans ce cas, comme dans « celui de la fusion de la fonte avec 3 pour 100 de pyrite, il « y avait dégagement de globules brillants. Je n'aperçus aucun « dégagement; la masse resta tranquille; refroidie, elle pré- « senta la forme d'un culot assez compacte, très-bien soudé; « cassée, on voyait çà et là du sulfure de fer jaune brun assez « foncé, qui n'était sans doute que du protosulfure disséminé « dans la masse. » Il y a, dans cette expérience, une cause évidente d'erreur due au contact du coke. Le premier essai avait démontré à M. Janoyer la formation de bisulfure de carbone, lorsque la fonte grise est fondue au contact de la pyrite de fer, « parce que, dans ce cas seulement, dit-il, je remarquai le dégagement de globules brillants. » La formation de bisulfure de fer est très-probable dans ces circonstances; mais elle ne ressort pas avec l'évidence dont M. Janoyer paraît s'être contenté.

M. Janoyer a fait d'autres essais, pour établir qu'il se produit de la fonte blanche lorsque des minerais, telle que l'hématite brune, sont réduits dans des creusets, en mélange avec des pyrites, de la chaux et du charbon, et que la blancheur est causée par la présence du soufre dans le métal. Mais quiconque a l'habitude des essais de minerais par *la voie sèche*, connaît très-bien ce fait. M. Janoyer a constaté que dans un haut fourneau marchant avec du minerai très-pyriteux, il ne pouvait obtenir de la bonne fonte grise en portant la pro-

portion de chaux employée comme castine au-dessus d'une certaine quantité maximum, qui, d'après ses propres expériences, était de 54 pour 100 de chaux dans le laitier, avec 10 d'alumine, et 36 de silice. Le soufre diminuait dans la fonte proportionnellement à la quantité de chaux introduite dans le fourneau, toutes choses égales d'ailleurs, mais il était impossible d'ajouter assez de chaux pour désulfurer complétement le fer et avoir à la fois un laitier fusible.

En présence du soufre, M. Janoyer attribue en partie le blanchiment de la fonte à la température décroissante du fourneau, résultant de la production et de la volatilisation du bisulfure de carbone qui rend « une grande quantité du calorique latent. »

Lorsque l'on produit une cause aussi directe que la présence du soufre dans la fonte, on peut se passer de cette théorie sur la chaleur latente. M. Janoyer est assez embarrassé pour expliquer l'absence du bisulfure de carbone dans les gaz qui s'échappent des hauts fourneaux, mais la difficulté disparaît aussitôt quand il réfléchit que le bisulfure de carbone ne peut subsister en présence de l'oxyde de fer à des températures élevées. Au fur et à mesure qu'elle monte dans le fourneau, sa vapeur se décomposerait par l'oxyde de fer du minerai, pour donner naissance à du sulfure de fer et de l'oxyde de carbone, de façon que le soufre repasse ainsi dans le fer. Cette explication, très-ingénieuse peut-être, n'est guère acceptable. Les théories sur la métallurgie du fer abondent; aujourd'hui nous avons grand besoin de faits.

M. Smith a fait, dans notre laboratoire, les expériences suivantes sur l'action du soufre sur la fonte grise :

1. 197^{gr}.56 de fonte grise furent fondus dans un creuset de terre sous du verre pilé avec 6^{gr}.15 de sulfure de fer contenant 29.9 pour 100 de soufre. Le fer était recouvert d'un verre noir, et entre les deux se trouvait une très-petite quantité d'une matière analogue à de la suie. La cassure du métal était iné-

gale, à grains très-fins, et d'un gris foncé. En supposant qu'il n'y ait pas eu de perte de soufre, le métal aurait dû contenir 0.9 pour 100.

2. On recommença l'expérience avec 570 grammes de la même fonte grise et 56 grammes du même sulfure. Le creuset, couvert et luté, fut maintenu à une chaleur blanche pendant une heure et demie. Entre la couche du verre qui recouvrait le métal et ce dernier, on trouva une grande quantité de matière noire plus ou moins pulvérulente et mal agrégée, qui avait la couleur, l'éclat et la forme du graphite. Le creuset avait été bien fermé et aucune fente n'était visible dans le corps du creuset ni dans le couvercle, de sorte que rien ne pouvait y être tombé. Le métal avait l'aspect de la fonte blanche; il était cassant et extrêmement dur. Le centre du culot était plus ou moins creusé, et autour de la cavité on remarquait des cristaux très-nets. La cassure était inégale et quelque peu lamelleuse; le métal contenait 0.78 pour 100 de soufre, et s'il ne s'était produit aucune perte, il aurait dû en contenir 2.68 pour 100.

3. De la fonte blanche grossièrement pulvérisée fut mélangée, telle qu'on l'avait obtenue dans l'expérience n° 2, avec un grand excès de poussier de charbon de bois ordinaire, et exposée dans un creuset de plombagine, pendant une heure et demie, à une température suffisante pour fondre le fer forgé. Après le refroidissement, le charbon en excès fut séparé des grains de métal par un lavage à l'eau. Sur la cassure, le métal paraissait consister en petits globules de fonte grise renfermés dans un treillis de fonte blanche, ce qui lui donnait l'aspect de la fonte truitée. La cassure ressemblait exactement à celle d'un échantillon de fonte de fer que M. C. Ekman nous avait envoyé de Finspong; cette fonte contient du soufre et paraît bien convenir à la fabrication des canons. La plus grande partie du métal fut refondue en culot sous du charbon de bois; sa cassure était en tous points identique à celle que nous venons

de décrire, excepté vers la partie supérieure qui contenait de nombreuses paillettes brillantes, d'aspect graphiteux ; le treillis de fonte blanche était aussi moins accentué, ou, en d'autres termes, la proportion du métal formant ce treillis semblait moins abondante qu'avant la refonte. Le produit de la deuxième fusion contenait 0.34 pour 100 de soufre. De deux dosages l'un donna 0.33 et l'autre 0.35 pour 100.

4. 686 grammes d'une autre variété de fonte grise furent fondus pendant une heure sous du verre pilé, dans un creuset d'argile, avec 327 grammes du même sulfure de fer que dans les expériences précédentes. Une grande quantité d'une substance ressemblant à du graphite était interposée entre la couche de verre noir qui couvrait le métal et la surface de celui-ci.

Le métal contenait 0.091 pour 100 de soufre. Des deux dosages faits par deux personnes différentes, l'un donna 0.094 pour 100 et l'autre 0.088. En supposant qu'il n'y ait pas eu de perte de soufre, on aurait obtenu 0.903 pour 100 ; d'où il résulte qu'il s'était échappé 0.815 pour 100 de soufre. Il fallut limer le métal pour l'analyser, car il ne se laissait pas pulvériser.

La matière analogue au graphite fut mise en digestion avec de l'acide fluorhydrique aqueux ; il s'en dégagea de l'hydrogène sulfuré en abondance et de l'hydrogène libre ayant une odeur particulière, que l'on sentait longtemps après que celle de l'hydrogène sulfuré avait disparu. Le résidu fut de nouveau traité par un mélange d'acide chlorhydrique et fluorhydrique ; puis, bien lavé et bouilli avec une solution de soude caustique. A cette solution on ajouta un excès d'acide chlorhydrique ; elle se troubla aussitôt et se colora en blanc jaunâtre, comme lorsque du soufre se précipite. Les parties scorifiées, qui étaient restées insolubles dans les solutions acides, furent finement pulvérisées et de nouveau traitées par le même mélange d'acide. Une grande quantité de fer fut dissoute et la

matière analogue au graphite, restée intacte, fut ajoutée à celle qu'on avait d'abord recueillie. Elle était très-volumineuse, et, à l'état sec, pesait 0gr.90; cependant elle n'était pas pure, car, 0gr.226 de cette substance chauffée dans un moufle sur du platine, ne produisirent pas moins de 0gr.065 d'un résidu brun qui fut mis à digérer avec de l'acide chlorhydrique, évaporé à sec, traité par l'acide chlorhydrique et filtré. On reprit par l'acide fluorhydrique qui n'en dissout qu'une très-faible quantité, et puis on fondit avec du carbonate de soude le résidu qui pesait 0gr.118. On traita la masse de la même manière par l'acide chlorhydrique; la liqueur filtrée contenait du fer avec traces d'alumine, qui, pesé comme sesquioxyde, s'élevait à 0gr.0531; (0.113 + 0.0531 = 0.0649); de sorte que le résidu de l'incinération, qui pesait 0gr.065, consistait principalement en sesquioxyde de fer.

5. On fondit 99gr.750 de fonte grise (à peu près le nº 2, comme couleur) dans un creuset d'argile *sous un tampon de charbon*, avec 5gr.829 du même sulfure que dans les autres expériences. Une sorte de matière graphiteuse s'accumula au sommet du culot du métal, qui était tout blanc et pulvérisable. Le métal contenait 1.13 pour 100 de soufre; mais s'il n'y avait pas eu de perte, il aurait dû contenir 1.65 pour 100.

6. On fondit de la fonte grise dans un creuset d'argile sous du verre pilé, à la température la plus élevée des fourneaux à air; les conditions étaient sous tous les rapports les mêmes que dans les premières expériences. La cassure était d'un gris foncé, et il n'y avait pas d'indice de fonte blanche.

Dans les expériences suivantes faites dans notre laboratoire par M. Weston, on prépara tout exprès de la fonte, en soumettant à une température très-élevée de la tôle de fer mince, dans un lit de charbon chimiquement pur. Le métal était très-graphiteux et contenait 4.5 pour 100 de carbone. On employa, pour le soufre, le sulfure de fer ayant déjà servi

précédemment. La proportion de carbone fut déterminée par combustion, avec du chromate de plomb, dans un courant d'oxygène, d'après la méthode suivie dans les analyses organiques immédiates.

7. Soufre ajouté : 4.378 pour 100. On fondit 24^{gr}.35 de fonte avec 4^{gr}.18 de sulfure et l'on recueillit de la fonte blanche, mais sans séparation de graphite. Le métal contenait 2.12 pour 100 de soufre ; mais s'il n'y avait pas eu de perte, il aurait contenu 4.378 pour 100. La proportion de carbone s'élevait à 3.17 pour 100.

8. Soufre ajouté : 2.235 pour 100. On fondit pendant une demi-heure 23^{gr}.25 de cette fonte avec 1^{gr}.88 de sulfure. Le culot consistait en fonte blanche très-cristalline avec du graphite séparé : la perte fut de 0^{gr}.20. Le métal renfermait 1.68 pour 100 de soufre, mais sans perte, il aurait contenu 2.235 pour 100. Le carbone s'élevait à 3.9 pour 100, dont 1.44 consistait en graphite, après dosage par les acides chlorhydrique et fluorhydrique, etc. Le carbone combiné atteignait par conséquent 2.46 pour 100.

9. Soufre ajouté : 1.243 pour 100. On fondit 26^{gr}.88 de fonte avec 1^{gr}.16 de sulfure et l'on retira de la fonte blanche avec du graphite séparé; la perte fut de 0^{gr}.0648. Le métal contenait 1.313 pour 100 de soufre, mais il aurait dû contenir 1.243; de sorte que le léger excès prouverait qu'il y a eu erreur dans le dosage. La proportion de carbone s'élevait à 3.6 pour 100.

10. Soufre ajouté : 0.696 pour 100. On fondit 19^{gr}.56 de fonte avec 0^{gr}.466 de sulfure ; il se sépara un peu de graphite. Le métal n'était cependant pas blanc, mais gris, avec treillis blanc, tel qu'on l'a déjà décrit. Il contenait 0.72 pour 100 de soufre ; et sans perte, il aurait contenu 0.696 pour 100. Le carbone n'a pas été déterminé.

Pour la commodité du lecteur, nous reproduisons, sous forme de tableau, les résultats de M. Weston :

Numéros.	CARBONE ET SOUFRE POUR 100						RAPPORT entre le carbone et le soufre du produit.		QUALITÉ DE LA FONTE PRODUITE.
	avant l'expérience.		après l'expérience.		perte dans l'expérience.				
	Carbone	Soufre.	Carbone.	Soufre.	Carbone	Soufre.	Carbone.	Soufre.	
7	3.841	4.378	3.170	2.120	0.670	2,258	6	20.22 ou C^4,S^3	Blanche ; pas de graphite.
8	4.164	2.235	3.900(1)	1.680	0.264	0.555	6	12.58 ou C^4 S^3	Blanche, graphite séparé
9	4.313	1.243	3.600	1.313(?)	0.718	»	»		Blanche, graphite séparé.
10	4.395	0.696	indéterminé.	0.720	indéterminé.	»	»		Truitée.

(1) 1.44 était du graphite.

Dans le n° 8, 2.46 de carbone combiné : 1.68 de soufre : : 6 : 4, c'est-à-dire dans le rapport $C^4 : S$; et 1.44 de carbone graphitique : 1.68 de soufre : : 6 : 7, c'est-à-dire, comme $C^6 : S^2$, à peu près. D'où il résulte que ces expériences n'indiquent pas la formation, ni la votilisation du bisulfure de carbone (CS^2) ; loin de nous toutefois, par ces quelques résultats, l'intention de conclure d'une manière définitive. Il est certain qu'il y a déperdition de soufre causée par l'action du carbone, si, comme nous le croyons, ces expériences sont exactes. Karsten affirme pourtant le contraire : « D'après mes expérien-« ces souvent répétées, dit-il, le bisulfure de fer avec mi-« nimum de soufre reste parfaitement intact lorsqu'on le « maintient avec du charbon pendant une heure à la chaleur « blanche la plus forte; mais il s'incorpore du charbon et il « devient par cela même cassant (1). » D'autre part, M. Fournet, cité par Karsten, affirme que le sulfure de fer se décompose en présence du charbon, quand on l'expose assez longtemps à une température élevée, et que le fer se combine avec du carbone pour former de la fonte, qui se sépare assez complétement lorsqu'il est en quantité suffisante (2). Ce sujet doit en rester là, jusqu'à ce que d'autres essais déterminent de quel côté se trouve la vérité. Un point intéressant dans les recherches de M. Weston, c'est que la coëxistence du graphite

(1) *Eisenhüttenkunde*, t. I, p. 429.
(2) *Ann. des Mines*, 3e série, p. 244; 1833.

est impossible et que le métal est nécessairement blanc, quand le soufre de la fonte atteint environ 2 1/4 pour 100. Il reste toutefois à s'assurer si une proportion moindre de soufre peut produire cet effet.

D'après les expériences récentes de M. Caron, le manganèse métallique, par simple fusion avec la fonte, la prive en grande partie du soufre qu'elle contient (1). La fonte qui a servi de point de départ, a été faite de toutes pièces en fondant du fer de très-bonne qualité avec du charbon de bois. Cette fonte fut refondue avec du sulfure de fer, de manière que le produit contînt 1.15 pour 100 de soufre. On mit deux portions égales de cette fonte dans deux creusets, l'une sans addition d'aucun autre corps, et l'autre avec 6 pour 100 de manganèse métallique qui contenait, d'après les analyses : 5.5 de carbone pour 100, 0.5 de silicium, et 1.0 de fer. Le métal fut tenu en fusion pendant une heure, puis coulé ; pendant cette opération, les fontes ont dû éprouver un léger affinage causé par l'atmosphère oxydante du creuset. M. Caron résume ainsi ses expériences :

	Pour 100 de fonte.	
	Soufre.	Manganèse.
Fonte sulfurée (A)	1.15	
N° 1. — refondue seule.	1.14	
N° 2. — refondue avec 6 °/o de manganèse.	0.15	3.92
N° 1. Deuxième fusion sans addition. . . .	1.05	
N° 2. — — . . .	0.10	2.81
N° 1. Troisième fusion sans addition. . .	0.96	
N° 2. — — . . .	0.08	1.73
(A) Refondue avec 10 °/o de sesquioxyde de fer.	1.08	
(A) Refondue avec 10 °/o de sesquioxyde de fer et 6 °/o de manganèse.	0.07	1.22

D'où il résulte que, par une simple fusion dans un creuset où

(1) *Comptes rendus*, t. LVI, p. 828; avril 1863.

l'air a accès, le manganèse enlève à la fonte plus de 0.7 de son soufre. En refondant cette même fonte avec une nouvelle dose de manganèse, il ne restait plus que des traces de sulfure. Il paraîtrait que le manganèse agit comme un intermédiaire permettant au soufre de s'oxyder et de s'éliminer à l'état d'acide sulfureux. Cependant, M. Caron conclut que sans action oxydante, le soufre disparaît de la fonte en présence du manganèse; mais cette conclusion paraît à peine justifiée par les données sur lesquelles elle repose. Nous pensons qu'il serait difficile, dans les conditions décrites par M. Caron, de maintenir sans oxydation l'alliage de fonte et de manganèse en fusion pendant une heure. M. Caron cite ce fait à l'appui de ses assertions concernant l'action désulfurante du manganèse, que certains minerais de fer renfermant des pyrites cuivreuses produisent de la fonte exempte de soufre, parce qu'ils sont très-manganésifères. Ces minerais sont cependant grillés avec soin avant d'être fondus, ce qui élimine la plus grande partie du soufre; et si la présence du manganèse était réellement la cause de l'absence du soufre dans la fonte, il faudrait que son action fût entièrement différente, dans le haut fourneau, de celle qui lui est assignée dans les expériences précédentes; et elle pourrait probablement s'expliquer par l'observation de M. Parry rapportée plus haut.

De l'action du phosphore sur le fer qui contient du carbone et du soufre. — M. Janoyer a cherché à établir, par les expériences suivantes, que le phosphore élimine une partie du soufre du fer renfermant du carbone (1).

1. On fondit dans un creuset d'argile non brasqué 3gr.5 de belle fonte très-graphiteuse avec 0gr.14 de pyrite de fer. On obtint un culot bien fondu de fonte parfaitement blanche, qui s'applatissait assez bien sous le marteau, quoique M. Janoyer le décrive comme « n'étant qu'un amas de cristallisations fila-

(1) *Ann. des Mines*, 5e série, t. VI, p 158; 1854.

menteuses de protosulfure de fer. » Son aspect était terne ; il était fort difficile de la pulvériser dans un mortier ; elle s'aplatissait de manière à donner des petites paillettes. Certaines portions étaient surtout très-ductiles, et l'auteur les regardait comme du fer resté libre à l'état de mélange mécanique dans le protosulfure. Il contenait 1.714 pour 100 de soufre.

2. $3^{gr}.5$ de la même fonte furent fondus de la même manière avec $0^{gr}.14$ de pyrites de fer, $0^{gr}.14$ d'os calcinés, et $0^{gr}.09$ d'argile blanche réfractaire. On obtint un culot bien fondu de fonte parfaitement blanche qui était très-cassant ; il s'est facilement broyé et pulvérisé, et n'a pas du tout fléchi sous le marteau. A la loupe, on y distinguait des parties « à cristallisations sulfureuses placées à angle droit et des parties cristallines à facettes très-brillantes. » Il contenait 1.486 pour 100 de soufre, soit 0.228 pour 100 de moins que le culot de la première expérience. M. Janoyer attribue cette déperdition de soufre à l'action du carbone, et il suppose qu'il s'échappe à l'état de bisulfure de carbone. Il explique, d'après ce principe, comment l'introduction dans le haut fourneau de minerais très-phosphoreux tend à combattre la propriété que le soufre donne au fer d'être rouverain ; ou, en d'autres mots, l'influence du soufre est plus ou moins neutralisée dans le fer par l'action du carbone. Il rappelle les résultats de son essai au haut fourneau, où il a constaté qu'en ajoutant du minerai oolithique ne contenant pas plus de 0.2 pour 100 d'acide phosphorique, dans la proportion de $0^{k}.106$ de phosphore pour 240 kilogrammes de fonte produite, il a obtenu du fer en barre qui n'était pas cassant à chaud ; tandis que sans cette addition, la fonte, bien que provenant d'hématite rouge de bonne qualité, exempte de soufre et de phosphore, donnait toujours du fer rouverain. Il s'assura que cette propriété n'était pas causée par les procédés ultérieurs de fabrication, car la fonte fut convertie, par le même traitement et avec le même combustible, en fer marchand sans et avec addition

de minerai phosphoreux. En outre, la fusion s'opéra dans les mêmes conditions, sauf que dans un cas on eut recours à du minerai phosphoreux, mais en quantité assez faible pour ne pas rendre le fer cassant.

M. Janoyer a fait d'autres essais pour démontrer qu'en présence du carbone, le soufre n'élimine pas le phosphore du fer.

1. 5 grammes de fonte grise furent fondus avec 0gr.10 de pyrite de fer, 0gr.20 d'os calcinés, et 0gr.20 d'argile.

2. 5 grammes de la même fonte furent fondus avec 0gr.20 d'os calcinés et 0gr.10 d'argile.

Dans les deux cas, le culot renfermait la même proportion de phosphore.

Tout en recommandant les minerais phosphoreux pour empêcher que le fer ne devienne rouverain, M. Janoyer, prescrit très-sagement d'en user avec modération. Les passages suivants de son mémoire exigent quelques commentaires. « On a remarqué, sans se rendre compte de la vraie cause, « que les fers à facettes, cassants à froid, se forgent très-faci« lement. » A moins de nous tromper grossièrement, les métallurgistes connaissaient ce fait et son explication bien longtemps avant la publication du mémoire en question; ils savaient également que « des traces de soufre suffisent pour donner au fer des propriétés nuisibles et le rendre rouverain. » Ils n'ignoraient pas non plus que « le passage du soufre dans le fer se « fait principalement dans la fusion du minerai au contact du « combustible minéral dans le haut fourneau, et que c'est dans « cette opération qu'il faut tâcher de s'en préserver. »

M. Caron a reconnu que le manganèse n'a pas, comme le soufre, le pouvoir d'éliminer le phosphore de la fonte. Il a fait sur le fer phosphoré une série d'expériences identiques à celles qui ont été citées pour la fonte sulfurée (1).

(1) *Comptes rendus*, t. LVI, p. 828; avril 1863.

Spiegeleisen chauffé avec de la silice. — M. Hochstätter a fait l'expérience suivante dans notre laboratoire. 97gr.15 de spiegeleisen caractéristique de l'Allemagne, réduit en poudre et contenant 5.39 de manganèse et 0.37 pour 100 de silicium, furent mélangés avec 19gr.143 de sable blanc fin. On soumit le mélange, pendant une heure environ, à une chaleur blanche, dans un creuset d'argile couvert renfermé dans un autre creuset. Le produit bien fondu pesait 94gr.56 ; il était recouvert d'un peu de scorie et très-malléable. Sa cassure était singulière, et il est difficile de la décrire exactement ; c'était ce qu'on appelle une cassure à colonne, fibreuse. Le culot était d'un gris foncé, et, à l'exception de points brillants disséminés çà et là, il avait un éclat terne et non métallique. En en refondant un morceau sous du charbon de bois dans un creuset d'argile couvert, le produit ne changea pas extérieurement d'aspect ; mais la cassure n'était plus à colonne. Après une longue digestion dans l'acide chlorydrique concentré, il laissa un résidu brillant, volumineux et noir, qui se composait de matière charbonneuse et siliceuse. On fit bouillir ce résidu avec une solution de potasse caustique qui produisit une solution incolore ; ainsi la matière charbonneuse ne s'était pas dissoute ; le résidu d'un noir brillant, insoluble, fut lavé et séché à 100° C. D'après le poids trouvé, on calcula que le résidu, par rapport au culot primitif du métal, s'élevait à 7.6 pour 100. Le premier produit se composait de :

Graphite	1.61
Silicium	2.91
Manganèse	0.99
Fer, par différence	94.49
	100.00

Il est possible que par l'attaque à l'acide chlorhydrique, un peu de carbone combiné se soit dégagé avec l'hydrogène ; mais si le carbone à cet état avait existé en quantité notable,

la solution dans la potasse se serait colorée en brun. D'où il suit que, par l'action à une température élevée de la silice sur le spiegeleisen, le manganèse se convertit en grande partie, en protoxyde qui se combine avec la silice pour former de la scorie, et que presque tout le carbone séparé sous la forme de graphite est remplacé par le silicium.

Action du cuivre sur le fer et le manganèse contenant du carbone combiné. — M. Richardson a fait les expériences suivantes dans notre laboratoire. Il opéra sur du cuivre déposé par la pile et du spiegeleisen de belle qualité, contenant 8 pour 100 de manganèse.

1. Poids employés.	Spiegeleisen. . . .	45gr.61
	Cuivre.	22 .19

Ces matières, déposées dans un petit creuset d'argile placé dans un autre creuset de plombagine, munis tous deux d'un couvercle bien luté, furent soumises, pendant une heure et demie, à une température élevée. Le produit bien fondu offrait les caractères suivants : un noyau de spiegeleisen en apparence intact ; une couche extérieure d'environ 0m,003 d'épaisseur ressemblant à de la fonte grise. Au-dessous du spiegeleisen intact, on remarquait plusieurs petites taches de la même substance, et du cuivre en pellicule mince s'étendant à la surface.

Dans une cavité sur le côté du culot, du graphite s'était séparé. Après l'avoir enlevé, on pesa le métal, et la perte fut évaluée à 0gr.375. La partie cuivreuse du culot contenait 2.82 pour 100 de manganèse et 4.87 pour 100 de fer. Le noyau du spiegeleisen en apparence intact n'offrait pas sur la surface de cassure, de trace visible de cuivre, bien qu'il contînt 2.50 pour 100 de cuivre.

2. Poids employés.	Spiegeleisen. . . .	32gr.38
	Cuivre.	32 .38

La fusion s'opéra comme dans la première expérience. Le

produit bien fondu offrait les mêmes caractères que celui du n° 1, sauf que la surface était recouverte de graphite. Le graphite enlevé, on pesa le culot : la perte était de 0gr.220. La partie cuivreuse contenait 1.16 pour 100 de manganèse et 3.67 pour 100 de fer.

3. Poids employés.	Spiegeleisen. . . .	21gr.63
	Cuivre..	43 .17

Le culot métallique présentait à peu près les mêmes caractères que ceux observés dans les expériences précédentes; une petite quantité de graphite s'était séparée à la surface. Après l'avoir retirée, la perte en poids fut trouvée égale à 0gr.151.

Dans les expériences nos 2 et 3, la proportion de cuivre dans le résidu de spiegeleisen ne put être déterminée, à cause de la difficulté de le débarrasser du cuivre mécaniquement mélangé.

Les résultats se résument ainsi : le spiegeleisen contenant 8 pour 100 de manganèse, par sa fusion avec moitié de son poids de cuivre, a perdu 1.16 pour 100 de manganèse ; et par sa fusion avec un poids égal de cuivre 1.34 pour 100. La séparation du graphite est un fait intéressant.

De l'élimination du silicium dans la fonte par fusion avec du sesquioxyde de fer seul ou avec addition de manganèse. — M. Caron (1) a fait les essais suivants. Il opéra sur de la fonte contenant 0.99 pour 100 de silicium :

PROPORTIONS POUR CENT.

		Sesquioxyde de fer.	Manganèse métallique.	Silicium dans le produit.	Manganèse.
1re fusion.	a.	10. . .	Néant.	0.61	—
	b.	10. . .	6	0.37	2.52
2e fusion.	a.	10. . .	Néant.	0.52	—
	b	10. . .	—	0.18	1.07

Il semblerait ainsi qu'en présence du manganèse, le sesqui-

(1) *Comptes rendus*, t. LVI ; 1863.

oxyde de fer peut séparer le silicium de la fonte, et qu'il se forme du silicate de protoxyde de manganèse.

De la fusion de la fonte contenant du soufre avec de la fonte contenant du phosphore, sans addition et avec addition de manganèse. — M. Caron a fait aussi des expériences à ce sujet (1). Il choisit deux échantillons de fonte, dont l'un contenait 1.04 pour 100 de soufre et l'autre 0.85 pour 100 de phosphore. Des quantités égales de chacune de ces fontes ayant été fondues ensemble, le produit fut coulé dans une lingotière; il contenait 0.51 pour 100 de soufre et 0.42 pour 100 de phosphore. Après avoir été refondu avec addition de sesquioxyde de fer, il ne contenait plus que 0.49 pour 100 de soufre et 0.42 pour 100 de phosphore. Refondu encore avec addition de 6 pour 100 de manganèse métallique, il retenait seulement 0.15 pour 100 de soufre et 0.39 pour 100 de phosphore; d'où M. Caron conclut qu'en fondant simplement ensemble des fontes contenant du soufre et du phosphore, il n'y a pas de diminution dans la proportion de ces éléments.

Carbonate de protoxyde de fer. FeO,CO^2. — Ce sel se rencontre abondamment dans la nature, dans les formations géologiques de presque toutes les époques. C'est un des minerais de fer les plus importants et qui, par conséquent, mérite d'être examiné tout particulièrement par le métallurgiste. Il cristallise dans le système rhomboédrique comme le spath calcaire, et constitue alors la variété minérale désignée sous le nom de *minerai de fer spathique*, qui renferme toujours du carbonate de protoxyde de manganèse, et généralement aussi du carbonate de chaux et de magnésie. On le trouve en cristaux plus ou moins translucides, avec un éclat vitreux qui rappelle celui de la nacre, ou une couleur d'un blanc jaunâtre; mais le plus souvent il est brun, ce qui est dû à sa décomposition partielle résultant de l'ac-

(1) *Comptes rendus*, t. LVI, p. 1017; 1863.

tion du temps ; il se forme du sesquioxyde hydraté de fer et il se dégage une certaine proportion d'acide carbonique. La pesanteur spécifique des variétés cristallisées natives varie de 3.70 à 3.92. Le sel natif cristallisé ou amorphe est anhydre. Sénarmont a obtenu ce sel à l'état de sable blanc grisâtre, à peine attaquable par les acides étendus, restant à l'air sec presque sans changer, et acquérant très-lentement une couleur brune pâle à l'air humide. Il avait été préparé en soumettant dans des tubes de verre hermétiquement fermés à des températures élevées un mélange de sulfate de protoxyde de fer et de carbonate de soude, ou de protochlorure de fer et de carbonate de chaux ; le premier mélange avait été chauffé à une température de 150° C. ou au-dessus ; le second à des températures variant entre 130° C. et 200° C., pendant 12 à 36 heures (1). Le sel était d'autant plus foncé en couleur et plus permanent à l'air, que la température avait duré plus longtemps à un degré élevé. La forme des grains cristallins était nettement rhomboédrique. Le sel cristallisé ne se dissout que lentement dans l'acide chlorhydrique dilué. L'addition de carbonate ou de bicarbonate de potasse ou de soude dans une solution de protosel de fer, tel que le protochlorure ou le sulfate de protoxyde, cause un précipité blanc, volumineux, de carbonate basique de protoxyde de fer hydraté qui absorbe rapidement l'oxygène de l'air, en devenant d'abord vert, puis brun. Il se convertit complétement et assez vite par le séjour à l'air, en sesquioxyde hydraté. Pour le préparer artificiellement, on prend les plus grandes précautions afin d'exclure l'air au fur et à mesure que l'action s'accomplit. La dissolution du précipitant alcalin doit avoir été bien bouillie et celle du sel ferrique doit être parfaitement exempte de tout sursel ; enfin le lavage et la dessiccation doivent s'opérer dans une atmosphère d'acide carbonique. Ainsi préparé, c'est une poudre d'un blanc verdâtre ou d'un

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XXXIX, p. 135 ; 1850.

vert foncé qui contient de l'eau et de 24 à 30 pour 100 d'acide carbonique (1). Le carbonate de protoxyde de fer est légèrement soluble dans l'eau, et sa solubilité augmente par l'acide carbonique ; on le trouve en dissolution dans les eaux ferrugineuses, qui, au contact de l'air, abandonnent, comme on l'a expliqué, un précipité brun de sesquioxyde de fer hydraté, par suite de la décomposition du carbonate. Le fer se dissout à l'abri de l'air, dans de l'eau saturée d'acide carbonique, et il se forme du carbonate de protoxyde qui reste plus ou moins en solution. L'eau se décompose ; l'hydrogène se dégage, et la réaction est analogue à celle de l'acide sulfurique dilué sur le fer. L'*action de la chaleur* sur le carbonate solide de protoxyde de fer anhydre mérite d'être notée. Lorsqu'on le chauffe au rouge dans un vase fermé, il se dégage de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique ; le résidu est magnétique. Il a été démontré que les volumes de ces gaz sont dans le rapport de 1 : 5, et que la composition du résidu d'oxyde est représentée par la formule $4FeO,Fe^2O^3$. L'hydrate de potasse, grâce à une chaleur assez forte, expulse l'acide carbonique du carbonate de protoxyde de fer ; il se forme du carbonate de potasse, de l'oxyde magnétique de fer et de l'oxyde de carbone, qui s'échappe (2).

Carbonate de sesquioxyde de fer. $Fe^2O^3,CO^2 + aq.$ — Ce composé, dont on ne connaissait pas l'existence autrefois, a été récemment étudié par plusieurs chimistes. Les expériences les plus concluantes sont celles du docteur Parkmann (3), qui l'obtint en ajoutant du carbonate de soude en léger excès, dans une solution d'alun, de potasse et de fer pur, à la température ordinaire. Le précipité ne fut ni lavé, ni séché, mais pressé fortement, pendant 12 heures environ, entre des feuilles

(1) Gmelin, *Handb.*, t. V, p. 221.
(2) Glasson, *L. u. K. Jahresb.*, p. 443 ; 1847-1848.
(3) *American Journal of Science and Arts*, t. XXXIV, p. 321 ; 1862.

de papier à filtre et introduit encore humide dans un tube à boules en verre résistant; le tout fut pesé. On le chauffa alors dans un courant d'air sec, et l'eau fut recueillie dans un tube à chlorure de calcium pesé. L'acide carbonique fut évalué par différence. M. Parkmann ne constata donc que le rapport entre l'acide et la base. Il analysa ainsi trois échantillons, dont l'un jusqu'à deux fois; les résultats s'accordèrent de près. La composition pour 100 est Fe^2O^3 78.43, et CO^2 21.57; et la composition moyenne des quatre analyses fut trouvée égale à Fe^2O^3 79.74 et CO^2 20.26. Ce carbonate se décompose par le lavage à l'eau, par la dessiccation dans le vide sur de l'acide sulfurique ou par le repos.

FER ET HYDROGÈNE.

M. M. Wanklyn et L. Carius ont décrit un composé de fer et d'hydrogène (1) que l'on prépare par l'action du protoiodure de fer sur le zinc-éthyle, les autres produits étant de l'iodure de zinc et du gaz éthylène. La formule suivante exprime la réaction :

$$Fe^2I^2 + Zn^2(C^4H^5)^2 = Zn^2I^2 + Fe^2H^2 + 2(C^4H^4).$$

C'est une poudre noire ressemblant à du fer métallique, qui dégage de l'hydrogène pur lorsqu'on la chauffe doucement. A l'abri de l'humidité, elle peut être conservée sans altération; mais, en ajoutant de l'eau pure, l'hydrogène se dégage immédiatement et il se forme du protoxyde de fer. L'acide chlorhydrique la décompose avec dégagement d'hydrogène et production de protochlorure de fer. Sa composition n'a pas été déterminée d'une manière satisfaisante.

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LXIV, p. 483; 1862.

ACTION DE L'ACIDE SULFURIQUE DILUÉ OU DE L'ACIDE CHLORHYDRIQUE SUR LA FONTE DE FER.

Fonte blanche. — Lorsque la fonte blanche est soumise à l'action dissolvante de l'acide sulfurique étendu ou de l'acide chlorhydrique, il se dégage de l'hydrogène fétide et on obtient un résidu léger insoluble, qui est d'un brun foncé à l'état humide et d'un brun clair quand il est sec. On n'a pas encore étudié les produits de cette attaque, quoiqu'ils offrent un vaste champ de recherches attrayantes, surtout pour les savants adonnés à la chimie organique.

L'odeur particulière de l'hydrogène dépend uniquement, suppose-t-on, de la présence d'un hydrocarbure. Nous avons fait à ce sujet quelques essais que nous rapportons ici dans l'espoir d'engager quelques chimistes à poursuivre ces recherches comme elles le méritent (1). M. Schrötter a trouvé qu'en faisant passer cet hydrogène à travers de l'acide sulfurique, une substance huileuse d'un brun foncé y était retenue ; il n'en recueillit ainsi, croyons-nous, que quelques gouttes. Nous avons préparé, d'après la méthode de Schrötter, 30 à 60 grammes de cette substance par l'attaque à l'acide sulfurique dilué du spiegeleisen et en recourant, quand il y avait lieu, à une douce chaleur. L'opération ayant continué pendant plusieurs jours, nous avons réussi à dissoudre en tout 4 kilogrammes environ de spiegeleisen. L'acide sulfurique était devenu brun et offrait à l'œil le même aspect qu'une solution aqueuse de bisulfate de quinine ou d'écorce de châtaignier ; il avait une odeur forte et caractéristique, analogue à celle du pétrole. Quelques jours après avoir fait passer le gaz, une sorte de liquide huileux d'un brun clair se sépara à la surface de l'acide. Lorsque l'acide parut saturé, il fut transvasé et rem-

(1) Voir, page 243, la note relative aux expériences de M. H. Hahn.

placé par de l'acide neuf. Une grande quantité de cette huile ainsi préparée fut mise à part. L'acide brun fut versé de temps en temps et peu à peu dans une grande quantité d'eau froide contenue dans un baquet lui-même entouré d'eau froide. Le liquide boueux d'un brun clair s'éclaircit après un repos de 12 heures environ, et une couche d'huile d'un brun foncé se rassembla à la surface ; au-dessous l'acide avait une couleur rouge brun foncée. La liqueur acide ayant été retirée avec un siphon, on recueillit l'huile qui surnageait.

L'*huile*, vue en couches minces, est d'un brun verdâtre foncé. Son odeur a de l'analogie avec celle du pétrole; elle exhale aussi l'odeur de l'acide sulfureux, qu'elle perd par l'addition de carbonate de soude; elle brûle avec une flamme lumineuse et fumeuse et se dissout immédiatement dans l'éther froid, en formant une solution d'un brun foncé; mais elle ne se dissout pas sensiblement dans l'alcool à froid. Un peu de matière floconneuse d'un brun clair, peut-être un produit dû à l'oxydation, était répandue dans l'huile, car dans le procédé suivi pour la recueillir, l'air avait eu libre accès. Quelques gouttes d'huile exposées à l'air, sur du verre, devinrent gluantes et d'un aspect résineux.

Outre l'huile brun clair, il se produit une grande quantité d'une huile noire épaisse d'où émerge à la surface, par l'addition d'acide sulfurique, de l'huile presque incolore, L'huile foncée brûle avec une flamme fumeuse.

L'huile claire, mélangée avec un peu de carbonate de soude et soumise par parties à la distillation dans un courant d'acide carbonique, donne plusieurs produits limpides et incolores, dont les points d'ébullition s'élèvent de 200° C. à 270° C. et au-dessus. Ces produits avaient des odeurs particulières. L'huile qui passa en dernier fut analysée par M. Tookey; il trouva qu'elle était isomère avec le gaz oléfiant. Il est probable que l'hydrocarbure ou les hydrocarbures engendrés par le spiegeleisen sont décomposés par l'action de l'acide sulfu-

rique. La portion non distillée était d'un jaune pâle et de consistance huileuse comme l'huile d'olive.

En faisant passer le gaz dans de l'alcool absolu, celui-ci acquiert l'odeur nauséabonde du gaz, mais il n'y a pas d'huile de retenue. En le faisant de même traverser un tube de verre entouré d'un mélange de glace pilée et d'acide sulfurique faible, on ne réussit pas davantage à condenser de l'huile.

Le *résidu insoluble* sec est volumineux, très-léger et d'un brun grisâtre exhalant une odeur particulière. Chauffé doucement dans un tube d'essai, il produit une vapeur blanche qui se condense en gouttes huileuses. La matière qui forme le résidu prend feu à une basse température et brûle comme de l'amadou. Bouilli avec une solution de potasse, on recueille un liquide brun d'une odeur particulière, dont on précipite une matière brune floconneuse par l'addition d'un excès d'acide. Lavée et séchée, cette matière devient d'une couleur brun foncé et brillante.

M. Hahn a publié, dans un mémoire tout récent (*Ann. der Chem. und Pharm.*, t. CXXIX, p. 57), les résultats de ses recherches sur les produits de la dissolution de la fonte dans les acides. Nous croyons devoir les résumer ici pour compléter ceux de l'auteur et répondre à son appel.

Hydrocarbures gazeux. — Les gaz produits par la dissolution de la fonte dans l'acide chlorhydrique ont été lavés dans des dissolutions de potasse caustique et d'un sel de cuivre, afin de les débarrasser de l'acide sulfhydrique et de l'hydrogène phosphoré. Le produit purifié, traité selon la méthode Bunsen, par une balle de coke imprégnée d'acide sulfurique, a révélé par la contraction du diomètre la présence d'un hydrogène carboné de la formule C^nH^{2n}. En brûlant ce gaz par l'oxygène et en absorbant l'acide carbonique formé, la présence d'autres hydrocarbures a pu être constatée.

Pour savoir si le gaz absorbé par l'acide sulfurique est constitué par de l'éthylène, comme Schaffhaütl avait cru le reconnaître, ou par un mélange d'éthylène avec du propylène et du butylène, on l'a condensé dans du brôme et l'on a analysé les différentes portions des liquides brômés séparées par la distillation et correspondant à des brômures définis dont les points d'ébullition variaient entre celui du brômure d'éthylène à 132° et celui du brômure de caproylène vers 190°.

Le gaz condensé dans le brôme contenait ainsi un mélange d'hydrocarbures homologues de l'éthylène.

Les gaz provenant directemement de la dissolution de la fonte ont passé pendant plusieurs semaines dans une dissolution ammoniacale de chlorure cuivreux Cu^2Cl, sans qu'il se soit produit d'acétylure de cuivre.

Le tableau suivant reproduit les dosages des hydrocarbures contenus dans les produits analysés de diverses fontes grise et blanche, les plus riches en carbone et en silicium.

NATURES DE FONTE.	VOLUME.		HYDROCARBURES $C^n H^{2n}$ sur 100 de gaz en volume.
	Initial réduit à 0°.	Après absorption par $SO^3 HO$.	
1. Fonte lamelleuse de Teichhütte (à l'air froid).	364.47	352.08	3.40
2. Fonte blanche malléable de Teichhütte, purifiée par du manganèse................	923.19	911.74	1.26
3. Fonte grise, provenance inconnue.........	944.15	940.79	0.36
4. Fonte grise de Lerbach (à l'air chaud), 4 pour 100 de silicium................	808.66	806.40	0.28
5. Fonte miroitante de Peine, riche en phosphore	»	»	1.60

Hydrocarbures huileux. — Pour obtenir ces hydrocarbures, M. Hahn a fait passer les gaz provenant de la dissolution du fer et préalablement lavés au moyen de dissolutions de potasse et de cuivre, par une série de flacons laveurs contenant de l'eau.

Le produit huileux ainsi obtenu au moyen d'une grande quantité de fonte grise avait pour composition :

	C.	H.
N° 1................	85.3	14.7
2................	85.7	15.0
3................	85.9	14.0

La formule C^2H^{2n} exige $C = 85.71$; $H = 14.29$.

Cette huile est incolore, plus légère que l'eau ; elle jaunit à l'air et est douée d'une odeur désagréable et pénétrante ; elle est soluble dans l'acide sulfurique, qui la transforme peu à peu en une substance brune, tandis qu'il se dégage de l'acide sulfureux. Elle commence à bouillir vers 100° C., mais le thermomètre monte rapidement à 275° C., et à ce moment des vapeurs blanches se dégagent. Le tableau reproduit les données des expériences faites sur cette huile.

	BRUTE.	AYANT PASSÉ de 110° à 275°.	RECTIFIÉE.	
Densité de vapeur.........	8.20	6.30	6.99	5.92
Poids moléculaire.........	236.9	182.00	202.06	171.03
Formule empirique........	$C^{16.9} H^{33.8}$	$C^{13} H^{26}$	$C^{14} H^{28.9}$	$C^{12.2} H^{24.4}$

Ces résultats prouvent que l'huile est constituée par un mélange des hydrocarbures homologues de l'éthylène, dont les points d'ébullition sont :

Œnanthylène	vers............	95°
Caprylène	—	125
Nonylène	—	144
Paramylène	—	163
Cétène	—	275

L'huile condensée, d'abord incolore, ne tarde pas à jaunir et à se transformer en un liquide brun, que l'acide sulfurique décolore. Par la distillation de l'huile incolore, la portion qui passe vers 300°C. est brune. En contact avec les dissolutions aqueuses de chlore ou de brôme, le liquide condensé forme une masse résineuse, soluble dans l'éther, à odeur de camphre. Avec l'iode en dissolution, il se colore en rouge en abandonnant un précipité brun floconneux. Ces propriétés distinguent ce corps des hydrocarbures C^nH^{2n}, mais le rapprochent des huiles éthérées $C^{10}H^{16}$.

Résidu insoluble. — Le résidu insoluble provenant du traitement de la fonte par un acide est soluble dans l'éther et dans l'alcool absolu. La dissolution alcoolique est précipitée par l'eau; elle a une réaction acide et précipite en jaune les solutions alcooliques d'acétate de plomb. Cette masse, que Schaffhaütl a regardée comme une combinaison ammoniacale organique, est probablement le résultat de l'oxydation des huiles éthérées. (*Note des traducteurs.*)

Fonte grise.—Le résidu insoluble que l'on extrait par l'action de l'acide sulfurique dilué ou de l'acide chlorhydrique sur la fonte grise, consiste principalement en graphite; et il y a lieu de croire que le silicium cristallisé y est souvent présent, car cet élément se sépare pendant la solidification comme le carbone, de même qu'il se sépare pendant la solidification du zinc, dans le procédé Deville pour la préparation du silicium. M. Richter, de Leoben, a constaté, dans un échantillon de fonte, la présence de paillettes de silicium cristallisé en octaèdres; il les avait trouvés dans le résidu insoluble par l'attaque à l'acide chlorhydrique (1). Nous avons déjà annoncé que T.-H. Henry avait trouvé du silicium cristallisé parmi les écailles graphitiques du résidu provenant de l'action de l'acide chlorhydrique sur la fonte. Nous avons reçu, il y a quelque temps, de magnifiques échantillons de graphite en grandes

(1) *Berg-und Hüttenmännisches Jahrbuch*, t. XI, p. 228; 1862.

lames des forges de Dowlais, par les soins de M. W. Child, chimiste de ces usines. Une portion fut mise à digérer pendant longtemps dans de l'acide chlorhydrique; des grumeaux de matières scoriacées apparemment restèrent insolubles outre le graphite. Le résidu, bien lavé à l'eau et séché, fut traité par de la potasse fondue dans un creuset d'or; il y eut une grande effervescence provoquée par le dégagement du gaz qui s'enflamma à la surface comme de l'hydrogène. On ajouta des portions successives de potasse, et la masse fut maintenue en fusion jusqu'à ce que le gaz cessât de se dégager. En traitant pareillement du graphite natif, il n'y avait pas la plus légère effervescence. L'action nous parut causée par la présence très-probable du silicium libre.

En 1817, le professeur Daniel publia un mémoire sur *la Structure mécanique du fer développée par dissolution, et sur les combinaisons du silex dans la fonte* (1). Un cube de fonte grise fut immergé dans de l'acide hydrochlorique étendu; et lorsque l'acide fut saturé, on retira le cube et on l'examina; il ne paraissait pas avoir diminué de volume, et consistait en une substance molle, spongieuse. On traita de même un échantillon de fonte blanche à cassure rayonnée; et il fallut trois fois autant de temps pour saturer l'acide que dans le cas de la fonte grise. La masse spongieuse de ce métal se laissait entamer facilement au couteau; elle était d'un gris foncé, ressemblant à de la plombagine; on en fit sécher un peu sur du papier à filtre, et dans l'espace d'une minute, elle s'échauffa spontanément et produisit de la fumée. Dans un autre cas, un amas de matière s'étant formé, elle s'enflamma et grilla le papier. Ses propriétés ne s'altèrent pas par un séjour de quelques semaines dans une solution de fer ou dans l'eau. Une partie couverte d'une solution de sulfate de fer, qui était restée dans une capsule pendant trois mois à l'air libre, porta le thermomètre à 20°,

(1) *The Journal of Science and the Arts*, t. II, p. 278.

quand on la recueillit sur du papier à filtre. Elle absorbait l'oxygène et s'échauffait, mais sans changer d'aspect. Soumise à un courant de chlore, elle devint plus chaude encore et forma un liquide jaune. Une autre partie lavée, après avoir bien digéré dans l'acide chlorhydrique, etc., fut chauffée au rouge sombre avec 13 grammes de soude pure dans un creuset d'argent; dès que la première bouffée de gaz se dégagea on retira le creuset du feu et le produit fut repris par l'eau. Le résidu insoluble, mis à digérer dans l'acide chlorhydrique, lavé et séché, avait l'aspect du minerai de fer micacé. La solution aqueuse, saturée par l'acide chlorhydrique et évaporée, devint gélatineuse et il se déposa de la silice caractéristique.

M. Calvert a examiné le résidu produit par l'action prolongée pendant deux ans de l'acide chlorhydrique faible et de l'acide acétique sur des cubes de fonte grise. Le métal primitif avait diminué d'environ 78 pour 100. Exposé à l'air, le résidu s'échauffa promptement, ce qui, d'après M. Calvert, était causé par l'oxydation du fer contenu. Voici ses analyses de la fonte et du résidu (1) :

	Fonte.	Résidu.
Carbone	2.900	11.020
Azote	0.790	2.590
Silicium	0.478	6.070
Fer	95.413	79.960
Soufre	0.179	0.096
Phosphore	0.132	0.059
Perte	0.108	0.205
	100.000	100.000

Ce résidu n'a pas encore été étudié d'une manière satisfaisante.

(1) *Jahres-Bericht*, Wagner, p. 24; 1861.

ACTION DE L'EAU DE MER SUR LA FONTE.

Lorsque la fonte a été longtemps exposée à l'action de l'eau de mer, on retrouve une masse légère, spongieuse et grise. Nous avons un échantillon de fonte provenant d'un boulet relevé dans le port de Falmouth, où l'on suppose qu'il avait séjourné bien des années. Dans de vieilles scories de fourneaux à masses, nous avons trouvé des globules de métal remplacés par une matière identique : cette modification est bien connue.

Un vaisseau de guerre fut coulé bas près de Carlscrona; on releva les canons cinquante ans plus tard, et l'on reconnut qu'un tiers du métal s'était transformé en une masse graphiteuse, poreuse et grise; après un séjour d'un quart d'heure à l'air, ils devinrent si chauds, que l'eau dont ils étaient imprégnés se convertit en vapeur; il était impossible de les toucher. Berzélius, qui cite ce fait, suppose que le fer s'est peu à peu converti en carbonate par l'action simultanée de l'oxygène et de l'acide carbonique sur l'eau, et qu'il s'est ainsi dissous (1). M. Wilkinson a consigné les faits suivants (2). Plusieurs vaisseaux de l'Armada espagnole sombrèrent sur la côte de Mull, en Écosse; et en 1740, on releva des canons de l'un de ces vaisseaux appelé la *Floride;* c'étaient des canons de cuivre et de fonte; en grattant les canons de fonte, qui étaient profondément corrodés, ils devinrent si chauds, qu'on ne put les toucher; cependant ils perdirent cette propriété après un séjour à l'air de deux ou trois heures; et il n'y avait aucune différence dans l'aspect de la matière, avant ou après la combustion. « Les habitants de Mull et tous « ceux qui furent témoins de ce phénomène en étaient très-

(1) *Traité*, t. II, p. 698.

(2) *On the extraordinary effect*, etc. — *De l'effet extraordinaire produit par l'action de l'eau de la mer sur le fer fondu. Engins de guerre*, par Henry Wilkinson. Londres, p. 238; 1841.

« étonnés (on se l'imagine facilement); et comme ils étaient « incapables de résoudre eux-mêmes l'énigme, ils s'adres- « sèrent à un chirurgien de vaisseau, comme au plus savant « de l'assistance; non moins embarrassé qu'eux, il répondit « que, quoique ces pièces eussent été ensevelies dans la mer « pendant deux cents ans, il supposait qu'ayant sombré dans « la chaleur de l'action, elles n'avaient pas eu le temps de se « refroidir ! » Dans un engagement naval avec les Français, qui eut lieu en 1545, en vue de Portsmouth, le *Mary-Rose*, de la flotte anglaise, était si chargé d'artillerie, qu'il coula avec tout son équipage, composé d'environ 600 hommes. Le 16 juin 1836, une pièce de 24, en laiton, de $3^m.35$ de longueur, appartenant à ce vaisseau, fut amenée à l'aide d'un appareil plongeur. Ce canon renfermait un boulet de fonte qui, à l'air, devint presque rouge, puis tomba en morceaux. « A la même époque, écrit M. Wilkinson, on sauva du naufrage du *Mary-Rose* quatre pièces en laiton et trois en fer. » Les canons en fer appartenaient à l'ancien système formé de barres cerclées par des anneaux de fer; ils étaient chargés; mais comme ils étaient en fer forgé ou malléable ils n'offrirent pas les mêmes phénomènes que les boulets de fonte. Ces boulets qui, d'après leur diamètre, avaient dû peser $13^k,60$, étaient réduits à $9^k.45$. Ceux de 8 pouces, ou de 30 kilogrammes, ne pesaient que 20 kilogrammes, quoiqu'ils eussent conservé l'apparence de boulets ordinaires, jusqu'à ce qu'au rouge ils fussent tombés en morceaux, après leur séjour à l'air.

Conservation de la fonte et du fer dans l'eau de mer. — M. T. Beck (*Ann. de Ch.*, t. LXIV, p. 225) et M. Unges (*J. fur Prakt-Chem.*, p. 285, 1836) se sont occupés de l'action de l'eau de mer sur le fer, l'étain et le zinc; ils ont constaté que ce dernier métal jouit éminemment de la propriété de préserver le fer de l'oxydation par l'eau de mer. On trouve encore, sur la protection du fer par le zinc, un article de Munkel (*Ann. des Mines*, t. XVII, 3ᵉ série, p. 425, 1840). M. de Althaus, directeur des salines de Durckeim, garantit complétement les chaudières d'évaporation de l'eau salée en y faisant clouer à l'extérieur des bandes de zinc; et M. Pfetch, directeur des salines de Varan-

géville, a fait breveter son procédé (1856) pour la protection des poêles d'évaporation par des plaques de zinc placées aux quatre angles, dans des compartiments séparés pleins d'eau salée, où le zinc est en contact avec le métal de la poêle.

Les expériences de M. Caron, extraites d'une note lithographiée (transmise au Ministre de la marine en 1863) que nous devons à son obligeance, ont eu pour but, non pas de trouver un moyen nouveau de protection, mais de déterminer, au point de vue surtout des blindages, les conditions propres à empêcher leur détérioration et à diminuer les dépenses. Sans entrer dans les détails de ces expériences sur des planches en chêne recouvertes, par rapport à une plaque de cuivre occupant la partie inférieure, de plaques de fer et de zinc, mises en communication ou isolées, plongeant dans la même eau salée ou dans deux liquides isolés ou non, etc., on peut en conclure d'une manière générale que le zinc protége le fer contre l'oxydation lorsqu'il est en contact avec lui, mais seulement lorsque les deux métaux sont plongés dans le même liquide ou dans des liquides communiquants.

Pour déterminer la surface de zinc nécessaire et suffisante pour protéger une surface donnée de zinc, M. Caron a expérimenté sur des fils de zinc fixés à des plaques de tôle, et plongeant dans le même liquide d'une quantité réelle, que la surface immergée du zinc fût le 100e environ de la surface du fer. Il a été mis à même de constater ainsi que la surface protectrice dépend de la nature du métal; le fer doux exige plus de surface que le fer aciéreux, l'acier recuit plus que l'acier trempé, et la fonte grise plus que la fonte blanche. Cependant, comme limite supérieure qui ne serait pas dépassée, 1 de zinc en surface protége efficacement 100 de tôle; comme limite inférieure, 1 de zinc a protégé 500 de tôle.

Les dispositions à prendre pour protéger les blindages peuvent varier beaucoup. M. Caron a indiqué entre autres les moyens suivants :

1° Une plaque de zinc ayant 0m.02 d'épaisseur et une largeur égale à l'épaisseur du blindage, serait fixée à celui-ci par des clous, vis ou chevilles de zinc, tout autour du navire sur la tranche de la partie inférieure immergée. Au-dessous de la plaque de zinc, un morceau de bois raccorderait la surface du blindage à la partie doublée de cuivre. L'épaisseur de 0m.02 donnée à la lame de zinc, est calculée en supposant que le blindage est immergé de 1m,80 en temps ordinaire, et de manière à ce que la surface protectrice, c'est-à-dire la tranche de la lame de zinc, soit à peu près le centième de la surface du blindage immergé.

Il suffira, en général, que le zinc et le fer soient en contact dans la mer, et si les plaques de blindage ne se touchent pas entre elles, qu'elles soient reliées par de petits coins en fer ou en zinc enfoncés entre deux plaques voisines.

2° Un autre moyen préservateur, en expérience dans le port de Toulon, consiste à noyer dans le zinc les têtes des vis qui fixent les plaques de blindage à la muraille en bois du navire, en ayant soin de faire affleurer le zinc au-dessus de ces têtes avec la face extérieure du blindage.

La surface de zinc en contact avec l'eau de mer sera plus que suffisante pour protéger la plaque de fer contre l'oxydation.

Lorsque le métal protecteur aura disparu, son remplacement n'offrira aucune difficulté (*). (*Note des Traducteurs.*)

ALLIAGES DU FER.

Nos connaissances sur les alliages du fer sont très-imparfaites. Il existe, il est vrai, de nombreuses observations relatives à la présence de divers métaux dans l'acier et dans la fonte, mais il y en a fort peu sur les alliages de fer pur. Nous donnerons ici les renseignements que nous avons pu réunir sur cet important sujet, sous les trois titres : Alliages avec le Fer pur, avec l'Acier et avec la Fonte.

FER ET CUIVRE.

Rinmann fit chauffer fortement dans un fourneau à vent un creuset contenant un mélange de 5 parties de fer avec 1 partie de cuivre, à l'état de grenaille.

Le culot bien fondu, convexe, pesait un peu moins que les métaux employés ; il était dur, coriace, et ne se brisait qu'avec difficulté ; sa cassure, blanche avec des points noirs, n'offrait aucunes traces de cuivre, mais çà et là, à la surface, on remarquait comme une pellicule cuivreuse (1). Quant à l'effet du cuivre sur le fer, les assertions de Rinmann, d'après la remarque de Karsten, sont contradictoires ; ainsi, il dit dans un passage de son mémoire : « Dans l'ignorance où l'on était, on a cru que le fer est surtout rouverain à cause du cuivre qu'il renferme, et quelques étrangers sont assez simples pour croire que le fer suédois contient généralement du cuivre,

(*) Les communications faites à l'Académie des sciences en 1864 par M. Becquerel père, sur la conservation du fer ou de la fonte dans l'eau, n'ont que reproduit sous une autre forme et avec des explications basées sur la force électro-motrice, les résultats indiqués par M. Caron.

(1) *Geschichte des Eisens*, t. I, p. 464.

et qu'il est par conséquent rouverain ; » tandis que dans un autre endroit, il écrit : « On ne peut nier que la présence du cuivre dans le fer en barre ne le rende rouverain sans remède (1). »

Mushet a fait des essais sur « les moyens pratiques d'allier le fer et le cuivre; » voici ses conclusions : « Le fer pur malléable peut s'allier au cuivre en toutes proportions, jusqu'à égaler ou excéder même le poids du cuivre; l'intensité de la couleur cuivreuse augmente jusqu'à ce que les quantités soient égales; la cassure devient plus pâle, à mesure que la quantité de fer domine celle du cuivre. Avec 50 pour 100 de fer, l'alliage jouit d'une grande résistance; sa dureté augmente avec la proportion de fer, mais sa résistance diminue ensuite, et quand on le coupe, il éclate sous le ciseau (2). » L'augmentation d'intensité de couleur ne concorde pas, comme nous le démontrerons plus loin avec nos essais.

Suivant Karsten, « Le fer ne peut retenir qu'une certaine proportion de cuivre, sans doute très-petite, puisque le cuivre peut seulement se combiner avec une pétite quantité de fer (3). Il remarque encore que le cuivre paraît exercer une action très-faible sur la propriété magnétique du fer, car la présence de très-petites quantités de fer dans le cuivre est décélée par l'aimant. Après avoir fait allusion à la divergence des opinions relatives à l'action du cuivre sur le fer, Karsten donne comme l'opinion générale des praticiens expérimentés dans la fabrication du fer, que le cuivre rend le fer rouverain. Pour se convaincre, il a fait des expériences sur une grande échelle. En convertissant la fonte en fer malléable dans un foyer au charbon de bois, il ajouta à la charge 1/2 pour 100 de cuivre. Pendant l'opération, il se produisit une flamme vive, d'un vert prononcé. Le fer en barre résultant de ce premier essai n'é-

(1) *Geschichte des Eisens*, t. I, p. 462 et 388.
(2) *Phil. Mag.*, t. VI, p. 81 ; 1835.
(3) *Eisenhüttenkunde*, t. I, p. 498.

tait pas du tout rouverain. L'expérience fut recommencée en ajoutant 1 pour 100 de cuivre à la charge, mais le fer du massiau se soudait mal; après avoir été réchauffé trois ou quatre fois, il ne s'était pas amélioré. En plongeant dans l'eau une barre chauffée à la température la plus élevée, il en sortit une flamme verte, et Karsten en argua que par ce moyen la présence du cuivre se manifeste instantanément. Sur huit barres provenant du massiau, six subirent l'épreuve ordinaire, mais les deux autres se brisèrent là où les criques avaient apparu. Quoique la ténacité ne fût pas affectée par l'addition de 1 pour 100 de cuivre, la soudabilité avait diminué. L'analyse démontra que ce fer tenait 0.286 pour 100 de cuivre. Karsten a constaté que ce fer cuprifère exige six fois autant de temps pour se dissoudre dans l'acide sulfurique ou nitro-chlorhydrique que le fer en barre pur.

D'après le professeur Eggertz, de Fahlun, le fer malléable contenant 0.5 pour 100 de cuivre est à peine rouverain (1).

M. Longmaid a fait breveter l'addition de 0k.600 à 0k.900 de cuivre par tonne de fer (2). Le cuivre est introduit dans la fonte en fusion pendant l'affinage ou le puddlage. Le breveté annonce ce que peu de personnes croiront « c'est que ce fer jouit d'une plus grande dureté, tout en conservant sa ductilité. » Nous ne connaissons pas de preuves à l'appui de cette assertion.

M. Richardson a fait dans notre laboratoire les expériences suivantes sur les alliages de fer et de cuivre. Il a pris du fil de fer épais et du cuivre déposé par la pile. Les deux métaux, coupés en fragments, ont été fondus sous du verre pilé, dans des creusets d'argile avec couvercles lutés.

1. 12gr.95 de fer et 64gr.77 de cuivre. Le culot bien fondu pesait 0gr.52 de moins que les métaux employés; il aurait dû contenir 16.6 pour 100 de fer. Extérieurement, sa couleur

(1) *Jahres-Bericht*, Wagner, p. 9; 1862.
(2) A. D., 1861, no 1863.

était celle du cuivre; aplati à la surface supérieure, les bords étaient arrondis; il n'y avait pas d'excroissance, mais près de la circonférence il y avait, en un endroit, une légère dépression, dans laquelle on pouvait reconnaître à la loupe que le métal consistait en une agglomération spongieuse de petites particules confusément cristallines. Il était beaucoup plus dur et avait plus de corps que le cuivre; pour le couper avec un ciseau à froid, on dut le traverser presque entièrement avant que les deux morceaux pussent se détacher. Il se laissait rayer par le spath fluor, mais non pas par le spath calcaire. La cassure était d'un rouge cuivreux, mais un peu plus pâle que celle du cuivre rosette; sa structure avait l'aspect grenu ou brillant et soyeux, suivant la direction de la lumière incidente; sous un verre faible elle paraissait homogène au microscope. Cependant M. Matthiessen ne put réussir à étirer un morceau de ce métal, par son défaut d'homogénéité. Nous avons été frappé du corps qu'avait cet alliage. Il s'aplatit sous le marteau au rouge sombre, mais il se crique. Il est à peine nécessaire de faire remarquer que les observations sur les qualités du métal pendant le travail ne peuvent être fondées qu'à la condition d'en manier un morceau plus gros que celui obtenu.

2. Fer 19gr.43 et cuivre 64gr.77. A l'exception de 3gr.56 de fer qui ne se fondirent pas, le culot était bien fondu. La perte s'éleva à 1gr.42. La cassure avait une couleur rouge cuivrée plus pâle que celle du numéro 1; elle était grenue, cristalline; elle paraissait homogène et il nous a été impossible d'y discerner à la loupe aucune particule de fer. Le métal n'avait pas autant de corps que le numéro 1; il contenait environ 20 pour 100 de fer, déduction faite de la portion non fondue.

3. Fer 45gr.34 et cuivre 45gr.34. La perte fut de 5gr.18. Le culot, bien fondu, avait une couleur rouge cuivrée violacée; il était très-fragile et d'une cassure à grain fin. Il contenait près de 50 pour 100 de fer.

4. Fer 45gr.34 et cuivre 32gr.39. La perte fut de 0gr.39. Le culot était bien fondu. Le milieu de la surface supérieure était très-légèrement concave; la surface avait la couleur du fer et paraissait légèrement platinée de métal; à la loupe, on apercevait partout des traces cristallines semblables à celles du chlorure d'ammonium évaporé sur du verre. Ce platinage de fer s'étendait vers le bas, autour des bords extérieurs et irrégulièrement sur la surface inférieure du culot. Le métal était très-fragile. La cassure était de même couleur que celle du numéro 3; elle était inégale et très-nettement cristalline; à la loupe, le métal paraissait consister en une agglomération de cristaux semblables à ceux du chlorure d'ammonium; des clivages de grande dimension étaient nettement indiqués, ils n'étaient point unis, mais composés de petites facettes parallèles produisant une sorte d'éclat chatoyant, selon l'angle variable des rayons incidents. Le métal contenait environ 58 1/4 pour 100 de fer.

5. Fer 51gr.82, cuivre 12gr.95. La perte s'éleva seulement à 0gr.13. Le culot était bien fondu; le métal très-fragile. La cassure avait une couleur gris pâle cuivré, dont la teinte variait selon la direction des rayons lumineux; elle était cristalline, grenue et d'un miroitement plus fort que le n° 4. Des molécules de cuivre rouge apparaissaient çà et là, surtout au fond du culot. Vue au microscope ordinaire, la cassure offrait des paillettes, d'un gris de fer micacé, mélangées de parcelles rappelant le cuivre rouge. Le métal contenait 80 pour 100 de fer. Dans chacune des expériences précédentes le culot agit fortement sur l'aiguille magnétique.

Mushet, en fondant du cuivre avec de l'acier et de la fonte, arriva aux résultats suivants (1). L'acier fondu avec 5 pour 100 de son poids de cuivre durcit tellement, qu'il devient impropre à la forge et ne se laisse pas affûter. Le lingot était cristal-

(1) *Phil. Mag.*, cité précédemment.

lisé comme de l'acier fondu et n'offrait pas, soit à l'extérieur, soit sur les surfaces de cassure, de traces de cuivre. Le cuivre fondu avec 10 pour 100 de son poids d'acier en barre donne un lingot d'un aspect extérieur identique au dernier, mais « d'une cristallisation linéaire radiée moins nette; il était dur et cassant, et des petits points de cuivre étaient visibles sur la cassure. » [C'est ce que porte le texte, mais le cuivre et le fer ont été certainement transposés.] Un lingot obtenu en fondant de l'acier avec 20 pour 100 de son poids de cuivre était, après avoir été limé, d'un rouge cuivré à la surface inférieure, et éclatant comme l'acier à la surface supérieure; la cassure avait un grain régulier. L'acier fondu avec un tiers de son poids de cuivre produit un lingot où le cuivre reste au fond; celui-ci apparaissait en stries et en nœuds sur la surface de cassure. La fonte blanche, fondue avec les mêmes proportions de cuivre, fournit à peu près les mêmes résultats, mais on remarque une plus grande tendance à la séparation lorsque le cuivre excède 5 pour 100. En fondant de la fonte grise, n° 1, avec 5 pour 100 de cuivre, on aperçoit des taches de cuivre rouge à la surface inférieure du lingot et sur la surface de cassure; avec 10 pour 100, le cuivre se détache de lui-même en feuilles à l'extérieur de la fonte; avec 20 pour 100, on trouve au fond du creuset un culot de cuivre sous la fonte. Mushet en conclut que « le cuivre s'unit avec le fer proportionnelle- « ment au carbone que ce dernier renferme. »

MM. Faraday et Stodart ont fondu de l'acier avec 2 pour 100 de cuivre, sans que la qualité du métal parût s'être améliorée (1).

(1) *The Quarterly Journal of science, litterature, and the arts*, t. IX, p. 329; 1820. *Philos. trans*, p. 266; 1822.

Nous aurons souvent l'occasion de revenir sur les expériences de MM. Faraday et Stodart sur les alliages d'acier, et il convient d'indiquer ici la manière dont elles ont été faites : « Pour fabriquer les alliages en grand, écrivent-ils, nous fûmes obligés de nous transporter de Londres dans une aciérie à Sheffield, et comme nous étions empêchés par nos occupations de diriger les essais en personne, leur direction en fut confiée à un agent intelligent et sûr. On lui remit l'acier, avec les métaux à allier dans la proportion voulue et à

M. Stengel a publié un mémoire sur l'influence du soufre, du silicium et du cuivre sur la qualité du fer et de l'acier (1); mais comme les rapports de ces éléments ont seuls été déterminés, les conclusions possibles à en tirer doivent être accueillies avec réserve : les résultats sont cependant assez importants pour être présentés ici *in extenso;* les maîtres de forges ont récemment accordé beaucoup d'attention à l'analyse des différentes variétés de fer du commerce, afin de déterminer les causes de leur qualité variable.

l'état le plus favorable, en même temps que des instructions pour constater que la totalité du métal était mise sans mélange dans le creuset et dans le fourneau. Il devait enfin surveiller le creuset et y tenir longtemps le métal à l'état de fusion avant de le couler. Le lingot fondu était ensuite martelé avec les mêmes soins; on le forgeait en barres de dimensions convenables, à une température assez élevée pour que le métal fût malléable.

« Le métal nous était alors envoyé et nous l'examinions mécaniquement et chimiquement pour le comparer aux produits semblables de notre laboratoire. D'après l'aspect extérieur et la texture de la partie brisée au marteau, nous pouvions émettre sur ses qualités générales un avis assez correct; on le soumit, après l'avoir façonné en instruments ou outils, recuits et trempés convenablement, à des essais rigoureux pour en déterminer la dureté, le corps et les autres propriétés. »

(1) *Uber den Einfluss der Kupfers und Schwefels auf die Güte des Stahls.* Karsten's Archiv, t. X, p. 744; 1837.

TABLEAU DES RÉSULTATS DE STENGEL.

Le signe — indique qu'on a cherché l'élément sans l'avoir trouvé ; et le signe ... qu'il n'a pas été recherché.

NUMÉROS.	SOUFRE pour 100.	SILICIUM pour 100.	CUIVRE pour 100.	LOCALITÉS.
		FER.		
1	0.002	0.056	—	District de Saarbrück.
2	0.004	0.048	0.07	L'Eifel.
3	0.012	0.050	—	Fer puddlé anglais.
4	0.016	0.076	—	Forge Halberg, Saarbrück.
5	0.116	0.192	—	Envoyé de Bonn ; lieu de fabrication inconnu.
6	0.018	0.038	0.21	Fer puddlé de l'Alf, près Kochem.
7	0.015	0.096	0.44	Siegen.
8	0.032	0.276	0.38	Le Harz.
		ACIER.		
9	0.002	0.115	—	Acier cru des environs d'Eisenerz, Styrie.
10	0.028	...	0.02	Acier Brescian.
11	0.002	0.062	0.39	Oberhunden, près de Lohe.
12	0.008	0.168	0.27	De Lohe, Siegen, fait entièrement avec du minerai spathique du Stahlberg.
13	0.011	0.144	0.40	Acier ordinaire de Lohe.
14	0.006	0.077	0.36	Acier fait avec du minerai brun, très-manganésifère, de Salchendorf.

Observations. — Le fer des n°s 1, 2 et 3 n'était nullement rouverain. Le n° 4 avait une tendance à être rouverain ; le n° 5 l'était au plus haut degré ; le n° 6 légèrement, tandis que le n° 3 était parfaitement exempt de ce défaut, et pourtant leur composition différait à peine, sauf pour le cuivre. Dans le n° 7, il y avait seulement des indices de propriété rouveraine ; et Stengel fixe à 0.44 pour 100 de cuivre la limite à laquelle cette propriété est censée naître. C'est en l'étirant en fils minces que l'alliage révèle son infériorité, par rapport au fer exempt de cuivre. Le n° 8 était rouverain, mais on pouvait le ployer sans le casser : dans ce cas, ce n'est pas le cuivre qui rend le fer cassant ; la preuve en est fournie par le n° 7. La ténacité du fer n'est pas affectée par la présence même de plus de 1/3 pour 100 de cuivre, du moins lorsque le métal est mar-

telé en feuillard, et bien qu'il puisse y avoir des bavures sur les bords.

Relativement à l'acier, Stengel fait observer que le n° 10, acier Brescian, surpasse les autres variétés d'acier du tableau, excepté le n° 9; et il appelle l'attention sur le fait que cette supériorité est due à l'absence totale de cuivre, ou à sa présence en proportion minime; et réciproquement toutes les variétés d'acier de qualité inférieure du tableau renferment relativement une forte dose de cuivre. Il assigne donc la cause de cette infériorité au cuivre : elle ne peut être causée par le soufre, parce que l'acier Brescian en contient plus que toutes les autres variétés du tableau. La présence du cuivre en quantité notable est décélée dans le fer ou dans l'acier que l'on a chauffé au rouge et plongé dans l'eau, par l'aspect grenu et noir de la surface. Le n° 9 convient à la fabrication des faux.

Les principales conclusions de Stengel sont celles-ci :

1. Toute variété de fer et d'acier exempts de cuivre, lorsqu'elle a été oxydée au rouge, puis plongée dans l'eau, offre une surface d'un blanc d'argent sur les bords, au lieu que mélangée de 0.27 à 0.4 pour 100 de cuivre, la surface ainsi oxydée est noire et rugueuse; ainsi, le n° 5, qui était très-rouverain par suite de la présence de silicium et de soufre et qui ne contenait pas de cuivre, offrait, après avoir été oxydé au rouge jaune, une surface d'un blanc d'argent, crevassée sur les bords.

2. La présence de 0.116 pour 100 de soufre et de 0.192 pour 100 de silicium *sans cuivre*, rend le fer et l'acier rouverains et sans usage.

3. La présence de 0.015 pour 100 de soufre et de 44 pour 100 du cuivre détermine la propriété rouveraine.

4. Il faut une proportion bien moindre de soufre que de cuivre pour rendre le fer très-cassant à chaud. L'addition de 0.1 pour 100 de soufre nuit peut-être plus à la résistance

du fer que l'addition de 3/4 pour 100 de cuivre et au delà.

D'après Eggertz, l'acier fait avec du fer contenant 0.5 pour 100 de cuivre n'est bon à rien (1).

On trouvera dans le volume du cuivre la description des fontes cuprifères des usines à cuivre de Perm, en Russie. Ces fontes blanches contiennent 12.64 pour 100 de cuivre et 3.03 pour 100 de carbone. Des parcelles de cuivre métallique sont disséminées sur la surface de cassure, mais il n'est pas fait mention de la quantité de cuivre allié, ou du moins intimement mélangé avec le métal. En fondant la fonte cuprifère dans un creuset et en protégeant sa surface contre l'oxydation, le cuivre renfermant environ 20 pour 100 de fer s'accumule à la partie inférieure et peut être coulé sans toucher à la couche de fonte qui surnage et tient encore de 1/4 à 2 pour 100 de cuivre; suivant Krilowski, cette fonte est très-propre au moulage. Elle coule dans les plus petites cavités et se resserre à peine en se solidifiant; elle est susceptible d'un poli fin et elle durcit comme l'acier; sa cassure, après un refroidissement subit, est brillante et lamelleuse; après un refroidissement lent, elle est terne et très-grenue; on peut la tourner très-facilement; elle est même un peu malléable. Les pièces, au sortir des moules, sont recouvertes d'une couche continue de cuivre métallique, quoique extrêmement mince, de sorte que, après avoir séjourné à l'air pendant quelque temps, elles acquièrent la teinte du bronze (2). On avait fait précédemment des essais à Liége pour allier la fonte au cuivre, mais sans pouvoir obtenir de véritable alliage (3).

FER ET ZINC.

Les anciens chimistes ont publié leurs essais aussi nom-

(1) *Jahres-Bericht*, Wagner, p. 9; 1862.

(2) *Notice sur la fonte alliée de cuivre.* Ann. des Mines, 3e série, t. XVI, p. 197; 1839. Cité d'après les *Annales des Mines russes*, n° 1; 1836.

(3) *Ann. des Mines*, 3e série, t. III, p. 233; 1833.

breux que variés pour allier ces deux métaux et la plupart ont conclu qu'ils ne pouvaient pas s'allier. Pourtant Bosc d'Antic trouva que le zinc fondu dans des creusets fermés, acquérait au contact du fer une couleur gris d'acier; qu'il n'était pas rendu malléable; qu'il ne se rouillait pas, mais qu'il conservait son éclat et se fondait au chalumeau sur du charbon de bois; qu'il était très-attirable à l'aimant; qu'il donnait à l'acide chlorhydrique la même couleur que le fer, en formant une solution qui produisait de l'encre avec une infusion de noix de galle, et du bleu de Prusse avec du ferrocyanure de potassium (1). Il n'y a donc pas de doute qu'il n'ait obtenu un alliage de fer et de zinc. Quoique le zinc fondu absorbe rapidement un peu de fer, à l'état de fonte ou de fer forgé, c'est seulement par le contact prolongé des deux métaux dans cette condition qu'on peut bien les allier. C'est ce qui a lieu dans le procédé de galvanisation du fer, où une grande quantité de zinc est maintenue en fusion dans des vases en fer. Le fer se corrode lentement et il forme un alliage, qui, ayant un point de fusion et une pesanteur spécifique plus élevés que le zinc, s'accumule au fond des chaudières. On le détache de temps en temps, et dans une usine nous en avons vu retirer plus de 60 tonnes en grosses masses.

Hollander paraît avoir été le premier à examiner les circonstances dans lesquelles se forme l'alliage du fer et du zinc et à reconnaître la véritable nature de l'incrustation produite dans les vases en fer où l'on fond le zinc. Après des essais nombreux mais inutiles, pour allier rapidement les deux métaux, il dut recourir à l'étain et à l'arsenic. Il a publié deux mémoires où, rappelant ses expériences, il donne un résumé complet de toutes les recherches antérieures. Ces mémoires sont trop minutieux pour qu'il y ait actuellement grand intérêt à les analyser (2).

(1) *Geschichte des Zinks*, Fuchs, p. 296; 1788.
(2) *Journal für Chemie und Physik*. Schweigger u. Meinecke, t. XXIII, p. 41-61 et 166-195; Nürnberg, 1821.

Berthier constate que « le fer et le zinc se combinent en « *toutes* proportions, quand on les chauffe lentement ensemble « à l'abri du contact de l'air (1) » ; mais ce fait est sûrement inexact. A une température élevée, le zinc se volatilise entièrement; aussi, Berthier fait-il remarquer avec raison que la fonte provenant de minerais de fer zincifères est exempte de zinc. Nous avons vainement cherché du zinc dans la fonte des fourneaux de Stanhope, du nord de l'Angleterre, bien que la vapeur du zinc brûlât au sommet, avec une flamme très-lumineuse et abandonnât une croûte de cadmies autour du gueulard (*). Karsten a trouvé du zinc dans de la fonte des minerais de fer calaminifères employés à dessein, mais la proportion en était trop faible pour être appréciée (2).

Berthier a donné les analyses suivantes des alliages détachés du fond des chaudières de fonte qui servent à mettre le zinc en fusion pour le mouler. Il les représente comme étant mamelonnés et à gros grains cristallins :

	1.	2.
Fer, pour cent.	4.7	4.0
Graphite —	0.3	0.2

Le n° 1 provenait de Liége, et le n° 2, de Gisors.

M. Herapath a obtenu une incrustation métallique de l'intérieur d'un tuyau en fer débouchant des pots d'un four à zinc anglais. Elle se composait pour 100 de 92.6 de zinc et de 7.4 de fer; sa pesanteur spécifique était 7.172 ; elle était très-dure et fragile; sa cassure offrait de larges facettes comme le

(*) Les fourneaux d'Ougrée et de Schlessin, etc., dans la vallée de la Meuse, sont dans ce cas; ils dégagent en abondance des flammes zincifères, et la fonte renferme à peine des traces de zinc; mais il arrive fréquemment que le zinc se condense dans les interstices de la maçonnerie. On est obligé de détacher de temps à autre les cadmies qui obstruent les gueulards; on traite ces cadmies dans les fours de réduction du pays de Liége; le métal qu'on en retire est en général aigre et cassant. (*Les traducteurs.*)

(1) *Traité*, t. II, p. 575.
(2) *Eisenhüttenk*, t. I, p. 519.

zinc, mais elle était d'un gris plus foncé et les surfaces étaient plus rudes et plus grenues que celle du zinc (1).

Il y a bien des années, on nous adressa des usines de *Gospel-Oak* près de Birmingham, où se galvanisait le fer, un échantillon d'alliage formé à l'extérieur de prismes courts cristallins et confusément entrelacés. La cassure offrait de grandes facettes parsemées de petites taches grises qui lui donnaient comparé à celui du zinc ordinaire, un éclat terne. Le métal était dur et cassant et, comme le fait remarquer Hollander, il se dissolvait très-rapidement dans l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique dilué, de sorte qu'on peut s'en servir avantageusement pour faire de l'hydrogène. Il contenait 3 pour 100 de fer et un peu de plomb. Nous avons reçu de T.-H. Henry un échantillon d'alliage consistant en un agrégat confus de cristaux imparfaitement formés qui paraissaient plus ou moins prismatiques; il renfermait 9.4 pour 100 de fer. La composition de cet alliage peut à peu près se représenter par la formule $Zn^{12}Fe$. Il est probable que le fer et le zinc s'associent en proportions variables et forment des alliages du même type cristallin, ainsi que l'ont démontré les professeurs Cooke du collége Harvard (Etats-Unis), pour les alliages de zinc et d'antimoine, et Storer, pour les alliages de cuivre et de zinc (2). Erdmann a analysé des cristaux aciculaires détachés d'un morceau de zinc distillé, abandonné dans l'eau sur du chlorure d'argent que le zinc avait réduit; ils renfermaient 93.193 pour 100 de zinc, 6.524 de fer et 0.283 de plomb. Leur composition correspond donc presque à la formule $Zn^{12}Fe$; ils ressemblent évidemment aux cristaux déjà décrits, qui, d'après leur mode de formation, auraient pu être considérés comme tenant du zinc mécaniquement mélangé (3) M. Abel, de l'arsenal de Woolwich, nous a commu-

(1) *Phil. Mag.*, t. LXI, p. 167; 1823.
(2) *Memoirs of the American Academy*. Nouvelle série, t. VIII, 1860.
(3) Berzélius, *Traité*, t. II, p. 620.

niqué ses observations sur des alliages de zinc et de fer accidentellement cristallisés. Il a trouvé pour une masse de petits prismes agrégés la composition suivante :

Zinc	91.80
Fer	7.45
Plomb	0.75
	100.00

Il n'y avait pas de soufre. Cette composition se rapproche de la formule $Zn^{10}Fe$, qui exige 7.90 pour 100 de fer. D'autres échantillons contenaient 8.2 et 7 pour 100 de fer. Une masse à cassure très-cristalline se rapprochant de celle de la fonte blanche, contenait 19.8 pour 100 de fer. MM. Laurent et Holms ont décrit des cristaux de zinc qui s'étaient formés dans une allonge en poterie servant de condenseur ; c'étaient des prismes à base rhombique, contenant de 3 à 4 pour 100 de fer (1).

Le procédé désigné sous le nom de *galvanisation* est pratiqué en grand pour empêcher la rouille du fer. Quand les pièces de fer ont été entièrement décapées par « un bain acide, » etc., on les immerge dans un bain de zinc fondu recouvert de sel ammoniac, où elles prennent une couverte superficielle et très-adhérente de zinc. L'histoire de cette invention est intéressante. On dit que Malouin s'était assuré, dès 1742, qu'on pouvait obtenir une sorte de fer-blanc avec du zinc (2). On trouve le passage suivant dans les *Essais chimiques* de Waston, 1796, qui eurent une grande publicité (3). « Une méthode a été introduite depuis plusieurs années, à Rouen, pour revêtir de zinc les casseroles repoussées au *marteau*. On rend d'abord les vases très-brillants, de façon qu'on ne puisse pas y apercevoir la moindre tache ; on les frotte ensuite avec une solution de sel ammoniac, puis on les plonge dans un vase de fer plein de zinc fondu ; en les retirant, on trouve

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. LX, p. 333 ; 1835.
(2) Dumas, *Traité de Chimie appliquée aux arts*, t. III, p. 218 ; 1831.
(3) T. IV, p. 177, extrait du *Journal de Phys.*, décemb. 1778.

que le zinc recouvre la surface du fer ; et si l'on a besoin d'une couche plus épaisse, on y plonge le vase une deuxième fois. Cette sorte de couverte est si dure, que les vases peuvent se nettoyer avec du sable sans qu'elle cède au frottement. » Cependant un brevet fut délivré en 1837 pour ce procédé (1), et un autre en 1841 (2) ; la seule différence consiste en ce que dans la dernière spécification la surface est d'abord revêtue d'étain ou de ses alliages. Un procès fut engagé, comme on devait s'y attendre, et ceux qui y gagnèrent le plus furent les gens de loi. M. Dumas, en 1831, exprimait l'opinion qu'il y avait « peu de probabilité que cette variété de fer-blanc trouvât des applications utiles. » Mais, ajoutait-il, « il est possible qu'en substituant un alliage de zinc et d'étain pur, on puisse obtenir de bons résultats (3). » Cette prédiction a été singulièrement malheureuse.

FER, CUIVRE ET ZINC (4).

En 1779, un brevet qui mérite aujourd'hui une attention spéciale fut accordé à William Keir ; il avait pour titre : « Métal composé, susceptible d'être forgé au rouge ou à froid, plus propre à faire des boulons, des clous et au doublage des vaisseaux, qu'aucun autre métal dont on se soit servi jusqu'ici, ainsi qu'à divers usages auxquels on applique d'autres métaux » (5). Cet alliage se prépare en combinant « 100 parties de cuivre en poids, 75 parties de zinc, et 100 parties de fer. » L'auteur recommande de faire d'abord fondre ensemble le fer et le cuivre, en présence du charbon de bois, du verre pilé ou

(1) Henry William Craufurd, A. D., 29 avril 1837, n° 7355.
(2) Edmund Morewood, A. D., 27 août 1841, n° 9055.
(3) *Traité de Chimie appliquée aux arts.*
(4) On pourrait penser que la description de ces alliages est étrangère à ce volume, et peut-être avec quelque raison. Mais si l'importance de l'élément métallique d'un alliage se juge d'après son effet et non pas d'après sa quantité, l'alliage en question devra être considéré comme devant ses propriétés particulières à la présence d'une petite proportion de fer.
(5) A. D., 10 décembre 1779, n° 1240.

d'un autre flux, et d'ajouter le zinc, peu à peu, par portions. En supposant qu'il n'y ait pas de perte, l'alliage consiste en 54.05 pour 100 de cuivre, 40.54 de zinc, et 5.40 de fer; c'est-à-dire qu'on peut le regarder comme du métal Muntz, où 5 pour 100 de cuivre environ auraient été remplacés par le même poids de fer.

Un brevet pour un alliage presque identique à celui de Keir fut accordé en 1860; il est basé sur une communication de Johann Aich, officier de la marine impériale à Venise (1). L'alliage est généralement connu, du moins en Allemagne, sous le nom de *Aich métal*. S'il est bien fabriqué, on peut le travailler à chaud et à froid. On le dit aussi malléable que le meilleur fer forgé; il se laisse marteler, laminer, estamper, étirer, ouvrer ou mouler sous toutes les formes. L'expérience a démontré que les meilleures proportions pour 100 kilogrammes d'alliage sont : 60^k de cuivre, $38^k.2$ de zinc et $1^k.8$ de fer. Tandis que la proportion de cuivre reste constante, celle du zinc peut être augmentée jusqu'à 44 pour 100, et le fer peut varier entre 0.5 et 3 pour 100. Cet alliage se recommande par son bon marché, qui permet de remplacer le cuivre et le laiton dans la construction des navires et dans leur doublage; il est bien plus résistant que le cuivre, et l'on assure qu'il supporte bien l'action de l'eau de mer. Le métal Aich, on le remarquera, contient au maximum 2 pour 100 moins de fer que l'alliage Keir; mais les proportions indiquées par Keir sont celles qu'il convient d'employer pour faire son alliage, tandis que celles de Aich existent dans l'alliage tout fait. Aich insiste sur l'addition « d'un excès de l'un ou de l'autre des métaux (surtout du zinc), car par l'oxydation et la sublimation, certaines portions se perdent inévitablement pendant la fusion. » Nous serions assez surpris si, malgré l'état de la loi actuelle sur les brevets, Aich osait contester l'ancien brevet Keir.

(1) A. D., 1860, 3 février, n° 278. « *Improvements in Amalgamating metals or producing alloys.* »

Des alliages analogues ont été introduits par le baron Rosthorn, de Vienne, sous le nom de *sterro metal*, dérivé du mot grec qui signifie « ferme; » ils possèdent, dit-on, des qualités très-précieuses, et par leur composition ils se rapprochent beaucoup de ceux spécifiés, il y a longtemps, par Keir. Ils en diffèrent cependant, en ce qu'ils contiennent moins de fer et une petite proportion d'étain. Le baron Rosthorn nous a fourni des renseignements circonstanciés sur ses alliages ; il les recommande pour l'artillerie et pour les pièces mécaniques qui doivent opposer une grande résistance aux frottements. Ils sont composés de 60 parties de cuivre en poids, de 34 à 44 de zinc, de 2 à 4 de fer, et de 1 à 2 d'étain. Il donne les instructions suivantes pour les fabriquer : On met le fer malléable au fond d'un creuset avec le cuivre par-dessus, et on chauffe à une température *très-élevée;* le fer est ainsi entièrement absorbé par le cuivre, et lorsque tout est fondu, on ajoute l'étain et enfin le zinc. Le métal en fusion doit être brassé, puis abandonné au repos pendant une minute ou deux, brassé de nouveau et coulé dans le moule. On fait deux qualités d'alliage, l'une douce et l'autre dure ; la première est plus ductile à froid, plus propre au laminage et à l'étirage ; la dernière convient aux bouches à feu.

Le baron de Rosthorn nous a offert une collection d'échantillons de ses alliages les plus durs, dont la résistance à la tension avait été déterminée. Ils sont d'un jaune de laiton, à cassure fine et d'un grain serré ; on n'y remarque aucune trace de porosité et ils sont susceptibles d'un beau poli. Les ingénieurs de Vienne les employeraient actuellement pour les corps de pompe des presses hydrauliques. Leur force de tension a été constatée très-exactement, dans différentes conditions, à l'Institut polytechnique de Vienne, et les résultats officiels sont ici groupés sous forme de tableau : les résultats des essais comparatifs faits avec le métal à canon et le bronze y sont également reproduits.

TABLEAU DES EXPÉRIENCES

Sur la force de tension du sterro-métal comme métal à canon, faites à l'Institut polytechnique de Vienne, en présence du commodore baron Wüllerstorf, du colonel d'artillerie de Parades, de M. Braun, directeur de la fabrique de machines de M. Dingler, de M. Christian Starke, inspecteur, et de M. Gustave Starke, adjoint aux ateliers de l'Institut. En date du 12 *octobre* 1861.

Numéros des expériences.	Nature du métal.		État.	Surface de section en pouces carrés autrichiens.	Poids requis pour rompre la barre. (En quint. autrichiens.)	Force absolue par pouce carré autrichien. (En quint. autrichiens.)	Moyenne absolue de la force par pouce carré autrichien. (En quint. autrichiens.)	Observations.
1 2 3	Sterro-métal.	Plus dur.	Fondu.	0.096 096 100	46.5 56.5 50.0	482 591 500	» 524	Par un vice de fabrication il n'était pas homogène. =4250 kil. par centimètre carré.
4 5 6	Sterro-métal.	Plus dur.	Forgé.	0.112 117 100	72.0 80.1 68.0	643 685 680	669	=5353 kil. par centimètre carré.
7 8 9	Sterro-métal.	Plus dur.	Une fois étiré à froid.	0.097 077 097	72.0 56.7 »	742 738 »	740 »	=5982 kil. par centimètre carré. Rebuté sans être essayé parce qu'on le trouva défectueux.
10 11 12	Sterro-métal.	Plus doux.	Fondu.	0.096 102 115	42.5 48.0 53.5	443 470 465	459	
13 14 15	Sterro-métal.	Plus doux.	Forgé.	0.123 105 124	66.5 59.5 67.0	540 567 540	549	
16 17 18	Sterro-métal.	Plus doux.	Étiré à froid. Une fois.	0.098 103 100	61.0 69.0 64.2	622 670 642	645	
19 20 21	Sterro-métal.	Plus doux.	Étiré à froid. Deux fois.	0.074 074 067	53.5 53.8 49.0	728 732 727	729	
22 23 24	Sterro-métal.	Plus doux.	Étiré à froid. Trois fois.	0.064 070 045	49.0 52.0 33.3	767 743 741	750	
25 26 27 28 29 30	Métal à canon composé de 89.9 de cuivre, 10.1 pour 100 d'étain.		Fondu.	0.129 124 123 106 118 121	44.0 49.7 42.5 44.7 42.6 35.5	341 385 345 422 361 293	358	=2833 kil. par centimètre carré.

Observations. Les barres soumises à l'essai n'étaient pas quadrangulaires, mais cylindriques; elles avaient été tournées et leurs diamètres respectifs furent mesurés avec un appareil micrométrique.

Afin d'obtenir des résultats comparatifs exacts pour le sterro-métal et le bronze, on employa les mêmes matières : du cuivre de Baltimore et de bon étain anglais.

La force de tension d'une variété dure de ces alliages fut aussi déterminée à l'arsenal impérial de Vienne. L'échantillon sur lequel on opéra fut préparé dans des conditions identiques et avec les mêmes qualités de métal qu'à l'Institut polytechnique. Les résultats confirment l'exactitude de ceux de ce dernier établissement, et se résument ainsi :

Force de tension par centimètre carré de section, après simple fusion, 4408^k; après avoir été forgé à la chaleur rouge, 5038^k.; étiré à froid et réduit de 100 à 77 de section, 5825^k.

Les analyses de l'alliage essayé furent faites respectivement dans les laboratoires de l'Institut polytechnique et de la Monnaie impériale.

	1.	2.
Cuivre..........	55.04	57.63
Zinc............	42.36	40.22
Fer.............	1.77	1.86
Etain..........	0.83	0.15
	100.00	99.86

L'expérience a démontré que la proportion du zinc pouvait varier de 38 à 42 pour 100, sans affecter matériellement la qualité de l'alliage. La pesanteur spécifique du métal forgé est 8.37, et celle du même métal étiré à froid, 8.40. La dureté du métal fondu surpasse un peu celle du métal à canon ordinaire, et elle augmente par le martelage. La force de tension du sterro-métal est remarquable; mais cet alliage possède une autre qualité qui, relativement à son application aux bouches à feu, est regardée comme bien plus importante que sa ténacité, c'est sa grande élasticité. Il ne s'allonge pas d'une façon perma-

nente, à moins qu'il n'ait été étiré au delà de 6 pour 100 de sa longueur ; au-dessus de cette limite, il est très-élastique et reprend sa forme primitive dès que la force d'allongement a disparu. Des bouches à feu de 4 et de 12 ont été fabriquées d'une seule pièce sous la presse hydraulique, en évitant ainsi un forgeage dispendieux ; des expériences dignes de foi ont démontré qu'après ce traitement, le métal avait les mêmes propriétés et la même force de tension que les barres étirées sous le marteau à vapeur (1).

La découverte du sterro-métal s'est faite accidentellement en essayant d'appliquer à la fabrication du laiton l'alliage de zinc ferrifère résultant « de la galvanisation du fer, » On a fait à ce sujet des expériences délicates à l'arsenal de Woolwich, et les résultats confirment l'exactitude des données précédentes.

Un alliage formé de 80 pour 100 de zinc, 10 de cuivre, et 10 de fer, a été proposé par M. Sorel, sous le nom de *fonte inoxydable* ou de *laiton blanc* (2). Il aurait la cassure et l'aspect du zinc ordinaire et il égalerait en dureté le cuivre et le fer ; il serait plus tenace que la fonte douce et susceptible d'être tourné, limé et coulé comme ces métaux ; il ne s'attache pas aux moules métalliques ; enfin, il séjourne à l'air humide sans se rouiller ni perdre son éclat métallique au moindre degré. On peut le bronzer facilement par dépôt métallique, ou en mettant en liberté le cuivre qu'il contient ; et par ce motif, on en recommande l'emploi pour les statues ou pour les autres objets d'ornement exposés à l'air. On le prépare en fondant ensemble avec les précautions convenables le zinc, le cuivre et la fonte. D'après la composition indiquée, il contiendrait du fer et non de la fonte, mais ce point n'est pas très-clair.

(1) Le compte rendu de ces résultats a paru dans le *Times* des 12 décembre 1862 et 3 février 1863.

(2) *Ann. des Mines*, 3e série, t. XVII, p. 647 ; 1840.

FER ET MANGANÈSE.

Nous avons déjà examiné les alliages carburés de fer et de manganèse ; la présence du carbone, il est à peine besoin de le faire remarquer, modifie, à un degré remarquable, les propriétés de tout alliage. Quant aux alliages de fer pur et de manganèse pur, nous ignorons s'il a été fait quelque essai concluant ; nous n'avons rien trouvé d'écrit à ce sujet.

FER ET ÉTAIN.

L'affinité du fer pour l'étain est bien connue. Le fer-blanc ordinaire n'est que de la tôle recouverte d'étain par simple immersion dans un bain d'étain fondu. L'étain, dans des conditions convenables, adhère fortement à la surface du fer. Un alliage de fer et d'étain, ou de fer, d'étain et d'arsenic se forme dans le procédé ordinaire de la fonte de l'étain. Berthier a décrit spécialement les deux alliages suivants (1) : l'un contient 35.1 pour 100 d'étain et correspond à la formule Fe^4Sn ; il est d'un gris de fer clair, cristallin et assez cassant pour qu'on puisse le réduire en poudre impalpable. L'autre, composé de 50 pour 100 d'étain, est fusible à 50° (pyromètre de Wedgwood), d'un blanc grisâtre, très-fragile et à cassure grenue. Le premier de ces alliages a été étudié dans notre laboratoire ; on l'avait préparé en fondant ensemble à la chaleur blanche : 1120 grammes de tôle de fer mince et 590 d'étain. L'alliage était dur et fragile, à cassure d'un gris clair, cristalline, avec de petites facettes sous des angles variables ; chaque facette était à grain fin, d'un éclat terne, identique à celui du zinc renfermant beaucoup de fer : il était magnétique. L'acide chlorhydrique l'attaquait faiblement sans l'aide de la chaleur, et l'acide azotique l'atta-

(1) *Traité*, t. II, p. 539.

quait énergiquement d'abord, puis son action cessait bientôt. MM. Deville et Caron ont décrit un alliage de la formule FeSn; il cristallise en larges lamelles dans une solution contenant un excès d'étain et n'est que faiblement attaqué par l'acide chlorhydrique (1). Nöllner a décrit un alliage de la formule $FeSn^2$ cristallisé en petits prismes à quatre pans (*). En faisant dissoudre de l'étain des Indes dans l'acide chlorhydrique, on retire un résidu insoluble où l'on retrouve ces cristaux. L'alliage a une densité de 7.446; il est presque insoluble dans les acides chlorhydrique et azotique, mais facilement soluble dans l'acide nitro-chlorhydrique; en le projetant dans la flamme d'une chandelle, il brûle avec des étincelles et une fumée blanche; il fond à une chaleur blanche, et la masse solidifiée cristalline est magnétique, bien que les cristaux primitifs ne le soient pas (2). L'étain et le fer se fondent ensemble en toutes proportions et forment des alliages d'un aspect homogène; mais quand un alliage contenant sensiblement plus d'un tiers de son poids d'étain est chauffé légèrement au point de fusion de l'étain ou au-dessus, la liquation de l'étain se produit jusqu'à ce que l'alliage Fe^4Sn, plus ou moins défini, soit laissé comme résidu. L'étain liquéfié entraîne cependant du fer.

Karsten a étudié l'effet de l'addition de 1 pour 100 d'étain anglais le plus pur à une charge de fonte pendant le procédé de conversion en fer malléable au foyer d'affinage. Le fer n'était pas précisément rouverain, car il se mar-

(*) Parmi les produits provenant du traitement des minerais d'étain à Schlackenwalde, M. Rammelsberg a décrit un alliage cristallisé renfermant de l'étain et du fer dans les rapports indiqués par l'une des formules $FeSn^5$ ou $FeSn^6$. Cet alliage forme de fines aiguilles d'un gris clair, appartenant, selon toute apparence, au système du prisme à base carrée; leur densité est de 7.534. L'acide chlorhydrique dissout lentement cet alliage. (Poggendorff's, *Ann. d. Phys. u. Chem.*, t. CXX, p. 54; 1863.) (*Note des Traducteurs.*)

(1) *Jahres-Bericht, u.*, p. 190; 1858.
(2) *Jahres-Bericht, L. u. K.*, p. 188; 1860.

telait très-bien; mais, chauffé à blanc, il émettait des vapeurs qui se condensaient sous forme de dépôt blanc sur le marteau et sur l'enclume. Par une forte chaleur, le fer tombait rapidement en morceaux sous le marteau, de sorte que pour lui donner de la qualité, il fallait lui faire subir plusieurs chauffes; il avait donc perdu de sa soudabilité et il était devenu rouverain à un haut degré. Aucune barre ne soutint l'épreuve ordinaire; toutes se rompirent en plusieurs morceaux dès qu'on les frappa sur l'enclume. Ce fer sans aucune utilité ne contenait, d'après l'analyse, que 0.19 pour 100 d'étain (1).

M. Levick, des forges de Blaina, nous a communiqué les résultats suivants de ses essais sur le procédé breveté de Stirling pour durcir les champignons des rails avec de l'étain,

« On ajouta à chaque charge, soit 240 kilogrammes de fonte à puddler, de 1 kilogramme à 1^k,30 d'étain en saumon. L'étain, introduit dès que le fer fut en fusion, ne parut pas nuire au puddlage; mais, à peine chargé, une grande quantité de fumée blanche s'échappait au sommet de la cheminée jusqu'à ce que le puddlage fût achevé. Le fer n'exige pas le même degré de chaleur pour former la loupe que s'il était sans étain. Cinglé sous le squeezer, il s'égrène davantage et est plus difficile à laminer. En roulant en barres puddlées, comme dans le cas des laminoirs, les pinces des ouvriers se couvrent d'un dépôt blanc provenant de la fumée blanche dégagée pendant le travail. Ce dépôt s'enlève aisément par le frottement ou par l'eau, quand les pinces sont rafraîchies dans la bâche. En mettant en paquet et en chauffant les barres puddlées pour faire la couverte des champignons des rails, le fer ne supporte pas une température aussi élevée que celui sans étain; car, à la chaleur ordinaire, il s'égrène et se crique sous l'action des cylindres. Lorsque la couverte durcie à l'étain est employée dans les paquets à rails, de grandes précautions sont néces-

(1) T. I, p. 508.

saires pour la souder, le champignon ne pouvant être soumis à la même température que le reste du paquet. La barre puddlée est très-cassante et cristalline, mais la couverte l'est plutôt moins; lorsque le rail est fini, une grande partie de l'étain s'est évaporée, et c'est avec difficulté que la couverte peut conserver son grain.

M. Longmaid a pris un brevet pour l'addition d'une petite quantité d'étain dans la fonte pendant l'affinage ou le puddlage (1). De $0^k,45$ à $0^k,90$ d'étain par tonne de fer sont des quantités convenables; mais, dans aucun cas, la proportion ne doit excéder $1^k,80$, car alors le fer est rendu dur et cassant. Le breveté déclare d'ailleurs « qu'en employant la petite quantité indiquée, on augmente la dureté et que l'on donne de la force au fer sans améliorer (affaiblir?) sa tenacité » (*sic*). Le style des spécifications de brevets ne fait pas toujours l'éloge de leurs rédacteurs; cette phrase le prouve.

MM. Faraday et Stodart se bornent à remarquer, dans leur mémoire sur les alliages d'acier, que « l'acier s'allie aussi avec l'étain, » et ils expriment des doutes sur la valeur de cet alliage (2).

Rinmann a fait de nombreux essais sur les alliages de fonte et d'étain. Avec 1/11 d'étain, le métal en fusion coulait comme de l'eau; il était très-fragile et dur, à cassure gris clair, et aussi dense que l'acier fondu de la meilleure qualité; il était attirable à l'aimant comme du fer pur. Rinmann appelle l'attention sur ce fait que cet alliage ne se rouille pas, bien qu'il l'ait laissé plus d'une année dans un lieu humide. Par cette raison, il le considérait comme propre à la fabrication d'ornements et de miroirs, d'autant plus qu'il se fond plus facilement que la fonte, qu'il coule mince et prend l'empreinte exacte du moule; il est plus blanc que la fonte, de structure très-compacte; il reçoit un beau poli et ne tache pas du tout les

(1) A. D., 1861, n° 1863.
(2) *Quarterly Journal*, déjà cité, p. 329.

mains ni le linge par le frottement. Il donne un son aussi net que le métal de cloche. Rinmann fit fondre dans du sable une cloche en fonte additionnée d'un peu d'étain ; l'expérience ne réussit pas très-bien, mais il parvint pourtant à améliorer le son du fer. A l'Exposition internationale de 1851, on voyait une grande cloche en fonte, qu'on disait alliée avec une petite proportion d'étain.

M. Denison nous a communiqué sur cette cloche les remarques suivantes : « La cloche de *métal Union-Stirling*, avait une forme presque hémisphérique, d'environ 1m,37 de diamètre; elle était beaucoup plus mince que les cloches de forme ordinaire et de diamètre égal, ou même que des cloches plus petites et de poids égal. Le son était inférieur à celui du métal de cloche sous la même forme, ou sous la forme ordinaire, et elle exigeait un battant beaucoup plus gros pour produire le son. On finit par la rompre en la frappant avec un marteau. »

Elle était exposée par Morries Stirling, qui avait fait de cet alliage l'objet d'un brevet (1). Une petite sonnette de cet alliage fait partie de la collection métallurgique du Muséum de géologie pratique. Nous avons coulé une cloche avec de la fonte blanche mêlée de 5 pour 100 d'étain ; le son paraît assez bon, mais il est plus perçant et très-inférieur à celui d'une cloche de mêmes dimensions, composée de cuivre allié à 24 pour 100 d'étain. Avec 20 pour 100 d'étain, l'alliage ressemble au dernier, mais il est plus blanc et un peu plus dur. La qualité de la fonte n'est pas spécifiée, mais sans doute elle est blanche, car si elle avait été grise, il en aurait été fait mention spéciale. De la fonte grise et de l'étain fondus ensemble à poids égal ne s'allient pas bien ; le premier métal repose à l'état de culot sur le dernier, de manière à pouvoir s'en détacher au marteau. On parvient au même résultat en fon-

(1) A. D., 1848; n° 12288.

dant de la fonte avec deux fois son poids d'étain. Un mélange de 3 parties en poids de fonte et de 10 parties d'étain donne un culot d'apparence assez homogène; il est demi-malléable et sa cassure ressemble tant soit peu à celle de l'acier brut fondu; des grains de fer sont disséminés dans la masse. De la fonte mêlée avec deux fois son poids d'étain forme un alliage d'aspect homogène, qu'on peut battre en feuilles minces; mais il contient encore de nombreux grains de fonte. Dans des essais entrepris à Liége, on a constaté que l'addition de 2 à 5 pour 100 d'étain dans de la fonte produisait un métal homogène, très-dur, fragile et peu tenace (1).

M. Eyferth a expérimenté l'action de l'étain sur la fonte (2). Suivant cet observateur, si l'on ajoute 25 pour 100 d'étain à de la fonte grise en fusion et qu'on brasse le mélange, tout le carbone *dissous*, c'est-à-dire non combiné ou graphitique, s'élève à la surface à l'état de graphite très-léger et volumineux. Il se forme ainsi un alliage très-fluide et tenace, quoique fragile, et ressemblant par la cassure aux alliages de plomb, d'antimoine et d'arsenic. Après l'avoir coulé, il reste dans le creuset une masse graphiteuse, et au fond un autre alliage plus riche en étain, dont la surface est presque couverte d'une couche adhérente d'une très-fine poussière graphiteuse: cet alliage est plus doux que le précédent, mais tout aussi fragile; la cassure est seulement plus brillante. Lorsque, après avoir introduit l'étain dans un creuset et l'avoir brassé à différentes reprises, on le tient au chaud pendant quelque temps, les métaux s'associent avec séparation de silicium et forment un alliage très-fluide qui rejette souvent des flocons de silice et dont la cassure ressemble à celle de l'acier fondu le plus compacte. Il semble que l'étain déplace seulement le carbone non combiné ou graphitique, et que tout le carbone combiné est retenu dans l'alliage

(1) *Ann. des Mines*, 3e série, t. III, p. 233; 1833.
(2) *Jahres-Bericht*, Wagner, 1861, p. 22.

stannifère. En ajoutant environ 10 pour 100 d'étain, le carbone non combiné est partiellement entraîné et l'alliage, qui est très-liquide, se distingue à peine, par la cassure, de la fonte grise brillante; on peut le limer et il se trempe comme de l'acier ordinaire. Cependant, par un refroidissement très-lent, il se produit de la fonte blanche renfermant des agrégats de lamelles graphiteuses. Lorsqu'on ajoute de l'étain à de la fonte grise en fusion, il ne se sépare pas de trace de carbone; M. Eyferth n'a fait que quelques essais dans ce sens.

FER ET TITANE.

Nous ne possédons des connaissances exactes sur le titane métallique que depuis quelques années, grâce aux travaux de l'infatigable M. Wöhler (1). Préparé en réduisant le fluo-titanate de potasse par du potassium, le titane est une poussière grise amorphe, qui ressemble au fer réduit par l'hydrogène à une basse température. Grossie deux cents fois au microscope, elle apparaît en masses frittées, ayant la couleur du fer et un éclat métallique; chauffée à l'air, elle brûle avec projection de vives étincelles; la plus petite parcelle de métal exposée à la flamme produit une étincelle comme une étoile. Chauffé dans l'oxygène, le titane donne naissance à une flamme instantanée qui jaillit comme un éclair, et il résulte de l'acide titanique(TiO^2) de la combustion. Suivant M. Wöhler, il n'y a pas d'autre corps qui brûle aussi énergiquement dans le gaz oxygène. Il décompose faiblement l'eau à 100° C. M. Wöhler ne croit pas au soi-disant titane jaune bronzé ou couleur cuivre, décrit par Berthier, Laugier et d'autres chimistes, et obtenu au feu de forge, en réduisant l'acide titanique dans des creusets brasqués, à moins qu'il ne soit établi que ce métal existe à deux états allotropiques. A des températures élevées, le titane se combine non-seule-

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XXIX, p. 181; 1850.

ment avec l'oxygène, mais encore avec l'azote; et même dans ce gaz, chose singulière, la combinaison a lieu avec dégagement de chaleur et de lumière (1). M. Wöhler a décrit trois azotures des formules TiN, Ti^5N^3, Ti^3N^2. Il y en a aussi un quatrième, de la formule Ti^3N, qui n'a pas été isolé, et que l'on suppose exister dans le produit des hauts fourneaux ; il en sera question plus loin. Les azotures des formules Ti^5N^3 et Ti^3N peuvent, suivant M. Wöhler, se représenter par les formules $2TiN + Ti^3N$ et $3TiN + Ti^3N$.

Le titane, comme on le verra par la suite, est souvent présent en petite quantité dans les minerais de fer traités en Angleterre; un composé remarquable de titane se rencontre en cristaux cubiques, couleur cuivre, dans la masse des crasses qui s'accumulent au fond du creuset des hauts fourneaux. M. Wöhler s'est assuré le premier que c'était un cyano-azoture de titane de la formule $TiCy + 3Ti^3N$ (2). Wollaston l'avait examiné longtemps auparavant et l'avait pris pour du titane pur. Selon Karsten, il existe des traces de titane dans beaucoup de variétés de fonte, mais il reste à savoir si dans ce cas le métal est réellement allié au fer ou dissous, et s'il n'est pas plutôt à l'état de cyano-azoture mécaniquement disséminé dans le fer qui constitue les crasses du creuset. Il peut y être très-finement divisé, comme le prouverait l'action des acides sur des « crasses »; titanifères ; le fer est dissous, et le composé de titane reste en liberté (*).

MM. Faraday et Stodart n'ont pas réussi à introduire le titane dans l'acier. Un mélange de limaille d'acier et d'oxyde de titane (TiO^2) fut chauffé violemment avec un peu de charbon;

(*) Le fluotitanate de fer, étudié par M. Weber, s'obtient par la dissolution du fer titané dans l'acide fluorhydrique ; il forme des cristaux prismatiques d'un jaune verdâtre, inaltérables à l'air ; sa composition est exprimée par la formule $FeFl + TiFl^2 + 6HO$. (*Note des Traducteurs.*)

(1) *Recherches sur le titane et son efficacité spéciale pour l'azote*, par MM. Wöhler et H. Sainte-Claire Deville, *Ann. de Chimie et de Phys.*, 3e série, t. LII, p. 92 ; 1858.
(2) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XXIX, p. 166 ; 1850.

l'acier se fondit en un petit globule recouvert d'un verre mince qui adhérait aux parois du creuset; l'acier ne contenait pas de titane. La température avait suffi pour amollir et presque liquéfier les creusets dans l'espace de quinze minutes (1). On se servit dans un des essais de *menachanite;* le culot ne contenait pas « un atome de titane, » bien qu'il fût damassé à la surface (2).

Karsten avait affirmé que des traces de titane se trouvent dans beaucoup de variétés de fonte (3). M. Riley s'est dernièrement occupé de la recherche de ce corps, et il est parvenu à en trouver notamment dans les argiles réfractaires; tout récemment il l'a dosé dans certaines variétés de fonte en quantité appréciable (*).

M. Hochstätter a fait dans notre laboratoire l'expérience suivante. 8gr.10 de sesquioxyde de fer à peu près pur et artificiellement préparé furent intimement mélangés avec 8gr,23

(*) Les deux analyses suivantes de M. Riley sur des minerais de Norwége destinés au haut fourneau, démontreraient que la proportion de titane y est cependant quelquefois fort considérable (4) :

	1.	2.
Oxyde de fer magnétique.........	46.14	54.72
Acide titanique..................	36.88	40.80
Silice..........................	13.32	1.58
Chaux..........................	0.78	2.13
Pyrite..................... ...	1.05	»
	98.17	99.23

M. Riley a également acquis la certitude que l'acide titanique fait constamment partie des minerais silico-argileux. Mais il est difficile, le titane n'étant pas susceptible de s'allier avec le fer, d'admettre la présence de l'acide titanique (0.470, 1.150 et 1.629 pour 100) dans les fontes produites soit avec des minerais de Norwége, soit avec des minerais également titanifères de Belfast, et surtout de comparer l'action du titane dans la fabrication du fer à celle du manganèse.

Nous croyons savoir que, dans des essais pratiqués dans des hauts fourneaux du comté de Durham, dans le but de contrôler cette influence du titane compa-

(1) *Quarterly Journ.* déjà cité, p. 322.
(2) *Phil. Trans.*, déjà cité, p. 267.
(3) T. I, p. 534.
(4) *Proceedings of the Chem. Soc.*, 2e série, t. I, p. 387; 1863.

de rutile (TiO^2) en poussière, et exposés pendant une heure et demie dans un creuset brasqué couvert, à la chaleur blanche. Le produit était en partie fondu et en partie fritté; la surface externe était d'une couleur rouge-cuivre. On chauffa de nouveau à blanc, pendant une heure et demie, dans un creuset brasqué couvert, après avoir ajouté 2^{gr},60 de chaux et 3^{gr}.90 de verre pilé. Ce deuxième produit était imparfaitement fondu, mais il renfermait de nombreux globules de métal disséminé. Ceux-ci étaient d'un blanc grisâtre sur leur cassure, légèrement malléables et fortement magnétiques. L'acide chlorhydrique bouillant les dissout lentement, à l'exception d'un petit résidu noir, qui disparaît complétement par la calcination à l'air. On ne découvrit pas de traces de titane dans les globules, soit en précipitant par l'ammoniaque leur solution dans l'eau régale, soit en redissolvant le précipité dans l'acide sulfurique à froid, ou enfin en faisant bouillir ensuite pendant longtemps la solution ainsi obtenue; il n'y eut pas le plus léger précipité; le titane n'était donc pas présent en quantité appréciable (*).

rable à celle du manganèse, il a été constaté que le titane passait tout entier dans les scories et laissait des traces à peine dosables dans la fonte qui, d'ailleurs, n'acquérait aucune qualité spéciale. Dans une aciérie importante du même comté, le titane n'a donné également que des résultats négatifs ou à peu près. (*Note des Traducteurs.*)

(*) *Extraction de l'acide titanique du fer titané.* — Le minerai, finement pulvérisé, est mélangé avec deux parties de spath fluor et chauffé avec assez d'acide sulfurique légèrement étendu pour former une bouillie liquide. On décante le liquide clair et on le verse dans un excès d'eau; le sulfate de chaux qui se dépose est séparé par filtration. La liqueur filtrée est verte et renferme le fer et le titane, qu'on précipite à la fois par l'ammoniaque; on dissout ensuite ce précipité dans aussi peu d'acide sulfurique étendu que possible et l'on ramène le fer à l'état de protoxyde par l'acide sulfureux; puis on verse la liqueur dans de l'eau bouillante et l'on entretient pendant quelque temps l'ébullition. L'acide titanique se précipite ainsi en entraînant un peu de fer. Pour l'avoir exempt de fer, on est obligé de le transformer en fluotitanate de potassium, qu'on purifie par cristallisation et dont on précipite l'acide par l'ammoniaque. (Weber, *Journ. f. Prak. chem.*, t. XC, p. 212; 1863.)

(*Note des Traducteurs.*)

De mars 1859 à décembre 1861, il a été délivré à M. Robert Mushet jusqu'à treize brevets pour des perfectionnements apportés à la fabrication du fer et de l'acier, et dans tous l'application du titane joue le rôle principal.

C'est une besogne assez fastidieuse, on le conçoit, que de feuilleter une pareille masse de spécifications. Dans la première (1), l'usage du titane est breveté pour l'alliage avec l'acier fondu, et dans la deuxième (2), pour la production directe de l'acier titanifère en fondant ensemble du fer malléable, du charbon et certaines matières titanifères. Le but du troisième brevet (3) est expliqué ainsi : « L'objet essentiel de mon invention consiste à fondre de « l'acier cémenté, de l'acier en barre puddlé, etc., ou des mélanges de ces « variétés d'acier ou encore un mélange de fer malléable et de matière « charbonneuse en proportions telles, qu'une fois en fusion il se produise de « l'acier fondu, avec de l'isérine de la Nouvelle-Zélande ou toute autre isérine, « ou avec un sable ferrugineux titanifère et de la matière charbonneuse ; ou en « ajoutant ledit sable ferrugineux titanifère et la matière charbonneuse à « l'acier, ou au mélange de fer malléable et de matière charbonneuse, ou aux « matières pouvant produire l'acier, qu'on se propose de convertir en acier « fondu. Ce mélange devra s'opérer pendant la fusion dudit acier ou dudit « fer malléable avec la matière charbonneuse, ou des matières pouvant pro- « duire de l'acier, ou après que ledit acier ou fer malléable, etc., auront été « fondus et réduits à l'état liquide, et enfin, en ajoutant à l'acier très-carburé, « de l'isérine de la Nouvelle-Zélande ou toute autre, ou du sable ferrugineux « titanifère, sans mélange additionnel de matière charbonneuse et en fondant « ensemble dans un creuset ledit acier très-carburé et le sable ferrugineux « titanifère. Dans ce cas, l'excès du carbone dudit acier très-carburé suffit, « sans aucune autre addition de matière charbonneuse, pour réduire à l'état « métallique l'isérine ou le sable ferrugineux titanifère, soit partiellement, « soit entièrement. »

Le quatrième brevet a pour titre : *Perfectionnement dans la fabrication d'un alliage ou des alliages de titane et de fer* (4). Le breveté déclare que son invention consiste à obtenir par l'isérine ou du sable ferrugineux titanifère un alliage ou des alliages de fer et de titane en fondant ces minéraux, après un mélange préalable avec certaines matières résineuses ou bitumineuses, dans un fourneau à vent ou de préférence à coupole, alimenté à l'air chaud. Le métal réduit, affirme-t-il, est un alliage de fer et de titane qui contient aussi du carbone. Il recommande le charbon de bois comme combustible lorsque le métal doit servir à faire l'alliage avec de l'acier fondu.

(1) A. D., 1859, mars, n° 703.
(2) A. D., 1859, mai, n° 1115.
(3) A. D., 1860, 29 septembre, n° 2365, *Amélioration dans la fabrication de l'acier fondu.*
(4) A. D., 1860, 8 décembre, n° 3010.

Le cinquième brevet (1) a le même titre que le quatrième, et l'invention « consiste à fondre les minerais composés de titane, appelés par les minéralogistes *ilménites* et communément minerais de fer titanifère, » afin d'obtenir un alliage de fer titanifère qui contient aussi du carbone.

Le sixième brevet (2) mentionne des « perfectionnements » aux premiers brevets pour l'application du titane à l'acier fondu.

Le septième brevet (3) est destiné à améliorer la qualité des fers malléables, et aciéreux ou celle des aciers fondus, tels qu'on les fabrique en injectant ou en refoulant l'air à travers de la fonte à l'état de fusion. Le but de cette « invention » est uniquement d'empêcher M. Bessemer d'ajouter aucune matière titanifère au produit fondu par son procédé.

« L'invention (4) » du huitième brevet réside 1° dans l'addition à l'acier ou à tout mélange de matières qui une fois fondues donnent de l'acier fondu, d'un mélange de fonte granulée ou de fer affiné, et du minerai de titane en poussière, du minerai de fer titanifère, de l'acide titanique ou de l'oxyde de titane; on fond ensemble dans ledit creuset, ledit acier ou matières produisant de l'acier et ledit mélange de fonte granulée, ou de fer affiné et de minerai de titane en poussière, d'acide ou d'oxyde, afin d'allier le titane ou une portion du titane contenue dans ledit minerai de titane, acide ou oxyde, avec l'acier fondu provenant de l'acier ou du mélange de matières produisant l'acier, de façon à améliorer la qualité ou les qualités de l'acier fondu, et 2° dans l'addition à l'acier ou à tout mélange de matières qui, une fois fondues, donnent de l'acier fondu, d'un mélange de fonte et de fer affiné granulaire et d'ilménite désoxydé ou de minerai composé de titane et de fer, on fond ensemble ces diverses matières dans un creuset, afin d'améliorer la qualité de l'acier fondu résultant.

L'objet de l'invention spécifiée dans le neuvième brevet (5) consiste essentiellement à fondre du spiegeleisen ou tout autre composé semblable, avec de l'acier fondu, principalement pour combattre la propriété rouveraine ou, autrement, améliorer la qualité. Ce brevet comprend le spiegeleisen « gris » (6). C'est sans doute une cause de nullité, car le spiegeleisen gris n'est pas du spiegeleisen.

Dans le dixième brevet (7), la fonte des minerais titanifères conjointement avec l'hématite rouge, est spécifiée comme le but de l'invention grâce à laquelle on obtient « un métal titanique de meilleure qualité, » qui possède une propriété et un usage spécifiques pour la fabrication de l'acier ou du fer de première qualité, dont ne jouit aucun autre alliage de titane et de fer contenant aussi du carbone; du moins le breveté le juge ainsi.

(1) A. D., 1860, 10 décembre, n° 3030.
(2) A. D., 1860, 12 décembre, n° 3045.
(3) A. D., 1860, 13 décembre, n° 3070.
(4) A. D., 1861, 21 janvier, n° 163.
(5) A. D., 1861, 23 février, n° 473.
(6) *Spécification*, p. 12.
(7) A. D., 1861, 19 octobre, n° 2609.

Dans le onzième brevet (1) M. Mushet réclame le droit exclusif de fabriquer un triple composé métallique ou alliage de fer, de titane et de manganèse contenant aussi du carbone.

Le douzième brevet (2) confirme le privilége exclusif d'allier l'acier fondu ou « le fer homogène » au triple alliage spécifié dans le dernier brevet. Cet alliage, d'après l'expérience du breveté, contient ordinairement un peu de silicium, mais en quantité si minime, qu'il « n'est pas du tout nuisible » à la qualité de l'acier fondu ou du fer homogène dans lesquels il peut entrer.

L'invention du dernier et treizième brevet (3) réside dans l'addition dans un four à puddler, « du métal titanique » à de la fonte ordinaire, ou à du fer affiné, ou à tout mélange de ceux-ci, afin d'améliorer la qualité du fer malléable, du fer en barre, ou de l'acier puddlé qui résulte de ces mélanges.

Si la foi dans la valeur d'une « invention » doit se mesurer par le nombre de brevets qui en garantissent l'entière propriété, M. Mushet a donné des témoignages exceptionnels de ses vertus. Treize brevets pour la seule application du titane à la fabrication du fer et de l'acier, sous toutes les formes, sont un incident assez remarquable, même dans les annales des brevets ! « L'acier titanique, » défendu par un rempart aussi titanesque de brevets, devait donner de merveilleux résultats à M. Mushet et au monde entier. Tous les moyens ont été mis en œuvre pour proclamer sa supériorité sans égale. Les journaux ont été mis à contribution à Londres, à Birmingham et ailleurs ; des objets en acier « titanique » ont été étalés dans les magasins les plus fastueux, à côté de belles et grandes affiches. Tout ceci est bien et conforme à l'usage ; mais on peut se demander si le public, si crédule pour beaucoup de choses, a formulé une appréciation quelconque sur cette importante invention métallurgique. Quelques chimistes de talent et de réputation déclarent qu'ils ont analysé des échantillons d'acier titanique « sans avoir pu y découvrir la

(1) A. D., 1861, 22 octobre, n° 2637.
(2) A. D., 1861, 1er novembre, n° 2744.
(3) A. D., 12 décembre, n° 3116.

moindre trace de titane. » Le titane n'est pas facile à découvrir en si petite quantité dans le fer, de sorte que cette preuve négative pourrait être attribuée à l'imperfection des méthodes analytiques, ou bien les échantillons analysés étaient-ils exceptionnellement pauvres comme certains autres échantillons commerciaux d'acier Wolfram, qui, suivant Wagner, ne contenaient pas de traces de tungstène. Nous apprenons que M. Mushet n'a pas réussi à convaincre les fabricants d'acier de Sheffield de la supériorité incontestable de son « acier titanique. » Cela peut tenir au préjugé, ou bien à une conviction honnête; c'est ce qui paraît plus vraisemblable. Notre ami M. Webster écrit à ce sujet : « Que les manufacturiers soient lents à adopter un changement, c'est naturel; les découvertes les plus simples et les plus grandes ont à vaincre la résistance de la routine, résistance comparable, en général, à l'importance du résultat ou aux conséquences de l'invention (1). » Espérons que « l'acier titanique » finira par entrer dans cette catégorie de découvertes !

FER ET PLOMB.

En réduisant un mélange de minium et d'oxyde de fer avec un flux noir, Rinmann a obtenu du plomb qu'il regardait comme ferrifère; il était plus dur que le plomb ordinaire. Il en conclut que par ce moyen le plomb pouvait dissoudre un peu de fer, mais que le fer ne pouvait pas incorporer du plomb. Il ne parvint pas à former un alliage de ces métaux en les chauffant ensemble directement à l'état métallique (2); Karsten ne réussit pas davantage. La masse forme toujours deux couches,

(1) *The case of Josiah Marshall Heath, the Inventor and Introducer of the Manufacture of Welding cast-steel from Bristish Iron. By Thomas Webster, M. A. F. R. S. Barrister-at-Law. London,* 1856, p. 10. La cause de J. Marshall Heath, inventeur des procédés de fabrication de l'acier fondu soudable, etc., par Ch. Webster. Londres, 1856.

(2) *Geschichte des Eisens*, t. I, p. 508.

dont l'une, celle du dessus, est du fer, et l'autre, du plomb; mais en réduisant à une température très-élevée de la litharge avec excès de fer pur, Karsten obtint du fer fondu où il trouva, comme moyenne de plusieurs expériences, 2.06 pour 100 de plomb. L'alliage avait une cassure feuilletée; il était fragile, mais doux et s'aplatissait un peu en se crevassant sur les bords. Cependant, en opérant la réduction de la litharge par de la fonte ou du fer carburé, le culot de fer était exempt de plomb (1). M. Sonnenschein a décrit un alliage de fer et de plomb trouvé dans un haut fourneau de Marienhütte, Silésie supérieure, où l'on traitait des minerais plombifères. Le fourneau ayant fonctionné pendant près de cinq ans, le plomb avait corrodé les parois du creuset à une profondeur de 0^m,15 au-dessous du trou de coulée, et à chaque coulée le plomb sortait avec la fonte. Il s'était ainsi formé au-dessous du trou de coulée une petite cavité où le plomb s'accumulait et que l'on vidait plusieurs fois dans les vingt-quatre heures. Dans le cours de dix-huit mois, on recueillit ainsi 26 tonnes de plomb. On éteignit le fourneau après sept années de marche et en le démolissant, on trouva non-seulement beaucoup de plomb dans les « crasses » du creuset, mais encore divers agrégats de cristaux, dont quelques-uns avaient été pris à tort, d'après leur aspect, pour du cyanoazoture de fer. Ces cristaux étaient cubiques et en gradins; mais il y avait aussi des groupes de cristaux aciculaires, feutrés, avec les caractères suivants : leur couleur était d'un jaune de laiton, et en quelques endroits d'un bleu vif particulier; ils étaient doux, un peu plus durs que le plomb, mais ils se coupaient facilement et leur surface coupée avait un éclat plombeux. Leur densité était de 10.560, et ils étaient très-attirables à l'aimant. On trouva, après plusieurs analyses, que ces cristaux consistaient en 88.76 de plomb et 11.14 pour 100 de fer, corres-

(1) *Eisenhüttenkunde*, t. I, p. 506.

pondant à la formule 2Pb + Fe. Leur composition pour 100 est donc 88.08 de plomb, et 11.92 de fer. M. Sonnenschein pense que cet alliage intéressant est dû à l'action continue du plomb gazeux sur le fer métallique. Les groupes de cristaux rouges mentionnés étaient en partie entourés de minium, ils appartenaient au système cubique ou à une variété de ce système; leur éclat était vitreux : c'était du plomb pur, revêtu superficiellement d'une couche très-mince d'oxyde rouge (1). M. Dick, qui s'est longtemps occupé de la fonte du plomb, nous apprend que le fer des grandes cuillères perforées employées dans le procédé de désargentation de Pattinson, se pénètre avec le temps de plomb métallique.

M. Biewend, de Clausthal, a décrit un alliage préparé en chauffant dans un creuset brasqué une scorie riche en plomb et en fer. La plus grande partie du plomb se volatilise. L'alliage bien fondu est dur, cassant et se laisse écraser légèrement sous le marteau, sans se criquer; la cassure à grain fin, foliacée (*kleinkörnig-blätterig*), luisante, varie entre le gris d'acier et le blanc d'étain. Cet alliage se composait de 96.76 de fer et 3.24 pour 100 de plomb (2).

Nous avons répété, sans pouvoir confirmer ses résultats, l'expérience de Karsten, en réduisant de la litharge par du fer. Nous nous étions servi de creusets de fer forgé et de creusets d'argile; les derniers s'étaient immédiatement corrodés et perforés par l'oxyde de fer, sinon par la litharge même. Nous avons vainement essayé d'obtenir l'alliage de Sonnenschein ou tout autre alliage défini de fer et de plomb.

FER ET ANTIMOINE.

Ces métaux s'associent facilement par la fusion et donnent des alliages durs, cassants, blancs, fusibles, et d'une den-

(1) *Chem. Gaz.*, t. XIV, p. 434; 1856.
(2) *Journal f. prak. Chem.*, t. XXIII, p. 252.

sité moins grande que la moyenne des densités des métaux composants. L'antimoine tend plus que tout autre métal à détruire la propriété magnétique du fer. Suivant Berthier, l'alliage contenant 70.5 pour 100 d'antimoine, c'est-à-dire Fe + Sb, est indécomposable par la plus haute chaleur, et les alliages qui renferment une proportion plus grande d'antimoine sont ramenés par une température de 150 degrés (pyromètre de Wedgwood) à cette formule (1). Un alliage de 1 partie en poids d'antimoine et de 2 de fer, fait feu quand on le lime (2).

M. Richardson a fait dans notre laboratoire les expériences suivantes avec de l'antimoine du commerce et du fil de fer épais. La fusion s'opéra dans des creusets d'argile avec couvercles lutés.

1. Fer, 14gr.50; antimoine, 16gr.70, correspondant à la formule Fe^4Sb. Le culot bien fondu pesait 31gr.02, avec une perte de 0gr.18; il était d'un gris foncé, fragile et à cassure grenue.

2. Fer, 12gr.95; antimoine, 12gr.95. Le culot bien fondu pesait 25gr.25, avec une perte de 0gr.50; il offrait les mêmes caractères que le précédent.

3. Fer, 19gr.23; antimoine, 0gr.19. On eut un culot bien fondu, pesant 18gr.92, avec perte de 0gr.50; il n'était pas tout à fait aussi fragile que les culots nos 1 et 2 et il avait un éclat plus brillant, mais la cassure était la même.

Karsten a constaté l'effet de l'addition de 1 pour 100 d'antimoine dans une charge de fonte, pendant la conversion en fer malléable dans le foyer d'affinage au charbon de bois. Malgré sa volatilité, l'antimoine a une action beaucoup plus nuisible que l'addition d'une même quantité d'étain. A la chaleur blanche, il produit les mêmes *fumées* dans le fer que l'étain, mais le fer en barre est plus fragile et extrêmement cassant à froid et à chaud. Le fer en barre contenait 0.23 pour 100 d'antimoine.

(1) *Traité*, t. II, p. 217.
(2) Thénard, *Traité de Chimie*, t. II, p. 247; 1834.

Karsten trouva 0.114 pour 100 d'antimoine dans du fer en barre si cassant à froid, qu'il n'avait aucune valeur, il n'y avait, du reste, que des quantités inappréciables de soufre et 0.38 de phosphore ; d'après son expérience, ces éléments ne suffiraient pas pour rendre le métal sensiblement cassant à froid et il regardait la présence de la petite quantité d'antimoine comme justifiant la mauvaise qualité du fer en question.

FER ET BISMUTH.

Les anciens métallurgistes sont en grand désaccord sur l'alliage de ces métaux ; quelques-uns prétendent qu'ils s'allient facilement, et d'autres qu'ils ne s'allient pas du tout. Karsten a constaté que l'addition de 1 pour 100 de bismuth dans une charge de fonte pendant sa conversion en fer malléable au foyer à charbon de bois n'affecte pas la qualité du fer ; cependant il est un peu dur au travail. Dès que le fer commence à fondre, il s'en dégage, pendant près d'une demi-heure, une flamme d'un vert bleuâtre et de la fumée. Le fer en barre contenait 0.081 pour 100 de bismuth (1).

FER ET NICKEL.

MM. Faraday et Stodart ont fondu ces métaux en diverses proportions, et ils ont constaté qu'ils s'alliaient bien. Voici leurs résultats (2) :

1. On fondit des clous avec 3 pour 100 de nickel pur. L'alliage était aussi malléable et aussi facile à travailler au marteau que le fer pur ; poli, il était plus blanc que le fer. Sa densité était de 7.804, et celle de l'alliage d'acier forgé avec 3 pour 100 de nickel, de 7.750.

(1) T. I, p. 522.
(2) *Quarterly Journ.*, déjà cité, p. 324.

2. On fondit des clous de fer, avec 10 pour 100 de nickel. Les métaux se combinèrent parfaitement, mais l'alliage était moins malléable et plus sujet à se criquer sous le marteau : poli, il avait une teinte jaune. Sa pesanteur spécifique était de 7.849, et celle de l'acier allié avec 10 pour 100 de nickel, de 7.684. Cet alliage se rouillait moins vite que le fer pur ; mais la présence du nickel dans le fer n'empêche pas l'oxydation dans la mesure indiquée. La même quantité de nickel alliée avec l'acier, loin d'empêcher la rouille, l'accélère très-rapidement.

Berthier affirme que le fer et le nickel s'allient très-facilement dans toutes sortes de rapports et que ces alliages ont les mêmes propriétés que le fer pur, mais ils sont plus blancs. Il décrit un alliage renfermant 8.3 pour 100 de nickel, c'est-à-dire $Fe^{12}Ni$, obtenu en réduisant dans un creuset brasqué des oxydes de fer et de nickel mélangés ; il était demi-ductile, très-tenace, d'un grain fin, mais à cassure un peu écailleuse. Cette composition est identique à celle du fer météorique des environs de Santa-Fé de Bogota (1).

M. Richardson a fait dans notre laboratoire, sur les alliages de fer et de nickel, les essais suivants. Le nickel avait été fabriqué par MM. Evans et Askin, de Birmingham ; on peut le regarder comme pratiquement pur. Le fer était à l'état de fil fin ; la fusion s'opéra sous du verre pilé, dans des creusets d'argile, et les métaux parurent s'allier parfaitement.

1. Avec 1 pour 100 de nickel : fer $32^{gr}.06$ et nickel $0^{gr}.32$, on eut un culot bien fondu, pesant $31^{gr}.74$ et accusant ainsi une perte de $0^{gr}.64$; la surface était partiellement revêtue d'oxyde noir mince ; coupé à moitié à peu près, avec un ciseau à froid, le reste se brisa ; la cassure ressemblait, sous tous les rapports, à celle d'un culot de fer fondu.

2. Avec 5 pour 100 de nickel : fer $18^{gr}.46$ et nickel $0^{gr}.97$,

(1) *Traité*, t. II, p. 216.

La perte fut de 0gr.64. L'alliage était parfaitement réussi ; la surface du culot était revêtue d'un oxyde noir ; il était plus fragile que le n° 1. La cassure, brillante et à grain fin, n'avait pas la teinte gris bleuâtre du fer.

3. Avec 20 pour 100 de nickel : fer 15gr.54, et nickel 3gr.88, la perte fut de 1gr.29. La surface du culot était lisse et sans oxyde ; l'alliage était cassant, et, en l'entaillant en travers avec un ciseau, il se brisa avec une cassure très-irrégulière qu'il est difficile de décrire. On pourrait la désigner comme fibreuse et à colonne ; à la loupe, le métal montrait un grain très-fin dans la direction et en travers des paquets fibreux ; son éclat était terne. La surface du culot, fraîchement grattée, était d'un blanc bleuâtre, mais à l'air elle prenait une teinte jaunâtre. Sa densité était de 7.917.

4. Avec 5 pour 100 de nickel : fer 12gr.93, et nickel 12gr.95 ; la perte fut de 1gr.29. Le culot ressemblait extérieurement au n° 3, il était uni, exempt d'oxyde, terne et d'une teinte jaunâtre à la surface ; après l'avoir gratté, sa couleur ressemblait à celle du dernier culot ; il s'aplatissait facilement sous le marteau, bien que cassant. La cassure, obtenue à la manière ordinaire, était bien différente de celle des alliages précédents, elle était égale, homogène, à grain fin, analogue à celle de l'acier fondu ; mais en l'observant en divers sens sous la lumière incidente, elle semblait consister en un agrégat de points brillants, comme on n'en remarque pas dans la cassure d'aucun acier fondu d'un grain aussi fin ; sa densité était de 8.200.

Ces alliages étaient très-sensibles à l'aiguille aimantée, et les deux derniers étaient susceptibles d'un très-beau poli ; tous deux empâtaient la lime.

Des morceaux de ces deux alliages, limés et polis, furent laissés plusieurs jours en contact avec l'acide sulfurique très-dilué, sans qu'il se formât de damassé.

M. Longmaid a fait breveter un alliage du fer avec le nickel

en proportions moindres que 110 grammes de ce dernier métal par tonne (1). On ajoute du nickel pendant l'affinage et le puddlage : d'après l'inventeur, le fer ainsi allié « gagne beaucoup en qualité. » Quoique cette déclaration soit faite de *bonne foi*, on devra se rappeler qu'elle émane du breveté.

Liebig a étudié des alliages de nickel avec le fer et l'acier préparés par M. Wolf, de Schweinfurth, dont il loue beaucoup la fabrication. L'acier-nickel a l'aspect et les propriétés de l'acier de Damas, et le fer-nickel acquiert de même un très-beau damassé par le procédé ordinaire (2).

M. Fairbairn a rapporté les résultats « d'expériences sur la résistance de plusieurs alliages de nickel et de fer, de composition analogue à celle du fer météorique (3). » Dans la première série d'essais, le nickel employé provenait d'un minerai nickelifère traité par la voie sèche, dont nous n'avons pu saisir la théorie, et que nous ne pourrions pas comprendre si la nature du minerai avait été décrite. On se servit pour ces alliages de fonte n° 3, de Blaenavon, et non de fer malléable. Comme il n'est pas question de la pureté du nickel, les résultats de ces expériences sont sans valeur. Dans la deuxième série d'essais, on s'est servi, comme précédemment et sans autre indication, de « nickel très-pur. » La résistance de la fonte fut très-notablement influencée par l'addition de 2 1/2 pour 100 de nickel; la résistance de la fonte de Blaenavon étant évaluée à 100, celle de l'alliage, sur une moyenne de six expériences, était de 83. Le nickel diminue aussi beaucoup la résistance à la flexion et au choc.

FER ET COBALT.

Suivant Hassenfratz, le fer allié avec le cobalt est très-malléable et soudable, il n'est pas cassant à froid, mais il a

(1) A. D. 1861, n° 1863.
(2) *Annalen der Pharmacie*, t. II, p. 257; 1852.
(3) *Proceedings of the Manchester Philosophical Society*, 9 mars 1858.

des tendances à être rouverain (1). C'est seulement dans ces dernières années que le cobalt pur a été produit en quantité, et il n'est pas certain qu'autrefois on eut du métal pur pour faire ses alliages; l'arsenic surtout pouvait s'y rencontrer. Berthier assigne exactement les mêmes caractères aux alliages de fer et de cobalt qu'à ceux du fer et de nickel; mais il est douteux qu'il ait fait assez d'essais pour justifier cette assertion.

M. Smith a fait les expériences suivantes en se servant de protoxyde de cobalt et d'hématite à peu près pure. Les quantités en grammes étaient :

	1.	2.
Hématite	12.95	23.32
Protoxyde de cobalt	12.95	2.59
Charbon en poudre	6.47	6.47

Le mélange fut mis dans un creuset de plombagine; la cavité fut remplie d'un mélange d'argile à porcelaine et de chaux, et le creuset, bien luté, fut exposé pendant deux heures à une chaleur blanche.

1. Résultat : culot bien fondu avec globules, pesant 19gr.17; attirable à l'aimant, s'aplatit quelque peu, puis se rompt sous le marteau; cassure grenue, d'un gris bleuâtre avec faible éclat. La scorie consiste en un verre transparent, d'une teinte bleue pâle grisâtre.

2. Résultat : culot pesant 18gr.53, bien fondu, avec quelques globules attirables à l'aimant; se brise sous le marteau; cassure grenue, d'un blanc grisâtre au centre, entourée d'une bordure très-mince, à grain fin, terne, gris foncé. Scorie semblable au n° 1.

Les culots avaient cette composition pour 100 :

Fer	46.71	87.21
Cobalt (2)	53.29	12.79

(1) Karsten, t. I, p. 532.
(2) *Par différence* et y compris le carbone présent, mais indéterminé.

Quand ces alliages sont réduits en poudre fine, ils sont aisément décomposés par l'acide chlorhydrique, avec dégagement d'hydrogène fétide.

Si l'hématite contenait 70 pour 100 de fer et le protoxyde de cobalt 78.5 pour 100 de cobalt et que tout le métal se fût séparé sans enlever de carbone, les culots auraient dû peser respectivement 19.23 et 18.33, et contenir 47.1 et 83.3 pour 100 de fer; leurs formules respectives s'approcheraient alors de FeCo et $Fe^{4}Co$.

FER ET MERCURE.

Le mercure n'attaque pas le fer, ni à froid ni à chaud. On a décrit plusieurs procédés indirects pour allier le fer avec le mercure; mais il est douteux que ces essais aient donné de vrais amalgames. En faisant intervenir un troisième métal, on favorise la tendance du mercure à s'associer: ainsi, quand un morceau de fer à la surface bien nette est plongé dans un amalgame de potassium, sa surface se revêt d'un amalgame très-adhérent, mais le mercure se sépare complétement, au fur et à mesure que le potassium s'oxyde par le séjour à l'air, et en laissant le fer aussi brillant qu'avant l'opération (1). M. Joule a décrit un amalgame défini de la formule Fe + Hg, qu'il a préparé en électrolysant une solution de fer, le mercure formant l'électrode négative. Le mercure en excès fut distillé dans un appareil spécial, sous une pression de neuf tonnes par centimètre carré (2). M. Schönbein a préparé un amalgame de fer en brassant ensemble une dissolution concentrée de protochlorure de fer et du mercure renfermant 1 pour 100 de sodium. L'amalgame épais de fer qui en résulta fut lavé à l'eau jusqu'à parfaite pureté (3). Selon M. Böttger,

(1) Berzélius, *Traité*, t. II, p. 708.
(2) *Brit. assoc. Rep.*. Edinburg, 1850. *Transactions of the sections*, p. 55.
(3) *Jahresb.*, L. et K., p. 95; 1861.

on obtient un amalgame de fer pur, très-magnétique, en triturant intimement ensemble, dans un mortier de porcelaine, deux parties en poids de chlorure de mercure cristallisé et une partie de fer finement divisé, avec addition de deux parties d'eau froide; on agite le tout sans discontinuer et l'on ajoute quelques gouttes de mercure au moment où la chaleur commence à se développer fortement (1). M. Cailletet annonce que le fer s'amalgame superficiellement par l'action de l'amalgame d'ammonium ou de sodium, ou quand il est immergé dans l'eau acidulée en contact avec du mercure formant le pôle négatif d'une batterie galvanique (2).

M. William Crookes nous a communiqué les faits suivants :

Lorsque l'amalgame de sodium cristallisé est recouvert d'une dissolution saturée de protosulfate de fer, ce dernier métal change de place dans le cours d'une heure ou deux, avec le sodium, et il se fait un amalgame de fer. Celui-ci est activement agité avec de l'acide chlorhydrique dilué qui le débarrasse du sodium en excès, et il reste à l'état de masse molle et onctueuse.

De la consistance du beurre et de couleur intermédiaire entre le mercure et le fer, ce produit paraît être un mélange d'un amalgame solide de mercure. En pressant la masse dans de la peau de chamois, le mercure se sépare à l'état liquide, et il reste dans la peau une masse solide, cristalline, d'un gris d'acier, qui, d'après l'analyse, contenait 12.77 pour 100 de fer ($FeHg^2$ exigerait 12.28 pour 100). Si cet amalgame solide est pétri avec les doigts dans la paume de la main, il s'échauffe graduellement, et peu de temps après se sépare en globules de mercure métallique et en fer noir pulvérulent. Le même changement s'opère plus lentement quand le gâteau d'amalgame de fer est abandonné à l'air; le mercure en sort par moments en jets de 2 à 3 centimètres de longueur. La chaleur développée n'est pas causée par l'oxydation du fer, car le

(1) *Jahresb*, L. et K., p. 224, 1857.
(2) *Jahresb.*, déjà cité, p. 249, 1857.

même changement a lieu avec séparation de la même poussière noire, lorsque l'amalgame est hermétiquement emprisonné dans un tube renfermant de l'huile de naphte minérale. L'amalgame solide et l'amalgame liquide, de même que le mercure liquide qui s'en exprime, sont très-magnétiques. Le fer s'oxyde peu à peu en séjournant à l'air; il se recouvre à la surface d'une pellicule d'oxyde rouge. Lorsque l'amalgame a une consistance butireuse ou un peu moins épaisse, il ne paraît pas se décomposer spontanément.

FER ET ARGENT.

Les avis des métallurgistes les plus anciens, sur les alliages du fer et de l'argent, sont très-contradictoires : les uns prétendent qu'ils s'allient facilement et complétement par la fusion, et les autres, que le fer et l'argent ne s'associent qu'en de très-petites proportions. Coulomb affirme que l'argent peut seulement retenir près de 1/150 de fer, et Morveau, que le fer ne peut retenir plus de 1/80 d'argent (1). Le premier de ces observateurs a trouvé que l'argent contenant seulement 1/320 de fer agit sur l'aiguille aimantée, et que l'argent dû à la réduction du chlorure d'argent fondu déplace l'aiguille, même s'il contient 1 de fer pour 133119 d'argent. On s'est servi pendant plusieurs années de grands creusets de fer forgé pour fondre l'argent, ce qui prouve surabondamment qu'à la température de l'argent en fusion, il ne peut y avoir d'affinité très-marquée entre ces deux métaux.

Nous devons à Karsten des essais en grand pour déterminer l'action de l'argent sur les propriétés du fer. Du fer en barre fabriqué avec de la fonte affinée au bois, auquel on ajoute 1 1/2 pour 100 d'argent fin, perd de sa qualité par cette addition. Pendant le procédé de conversion, une vapeur d'un

(1) Karsten, t. I, p. 491.

vert bleuâtre s'échappe du métal ainsi que du fer en barre pendant le martelage, tant qu'il reste au rouge blanc. Le fer de mauvaise qualité, lamelleux et très-rouverain, indiquait à l'analyse 0.034 pour 100 d'argent. L'argent exerce la même action que le soufre sur le fer, quoiqu'à un degré un peu moins marqué.

M. Longmaid a pris récemment un brevet pour un alliage de fer avec des doses homœopathiques d'argent(1). D'après l'inventeur, la quantité d'argent ne devra jamais excéder 280 grammes par tonne de fer; mais il préfère, pour l'usage ordinaire, qu'elle n'excède pas 25 ou 50 grammes : il n'augmente les proportions que lorsqu'il veut rendre le fer plus résistant, plus ductile, ou propre à sa conversion en acier. On peut ajouter l'argent pendant l'affinage ou le puddlage. L'inventeur annonce qu'il « a trouvé une amélioration marquée dans le fer fabriqué avec une addition de moins de 25 grammes d'argent par tonne; » et il ajoute qu'il est « certain qu'on s'est déjà servi d'argent pour l'alliage, mais que les quantités en étaient si grandes, qu'elles ont neutralisé les qualités recherchées dans le fer allié, parce que l'argent ne se combine chimiquement qu'en de petites doses. » Le brevet de M. Longmaid n'a pas attiré l'attention des maîtres de forge; le contraire nous eût surpris. En expérimentant au four à puddler, il est nécessaire de prendre les plus grandes précautions pour éviter des conclusions erronées, et il est difficile dans deux chauffes successives de s'assurer même de l'identité des conditions. Un peu plus d'attention ou un travail mieux conduit, c'est-à-dire le tour de main du puddleur, dans une « chauffe » comparée à une autre, peut occasionner des différences notables. Un pourboire utilement glissé dans les mains de l'ouvrier l'engage à atteindre dans les essais de ce genre, coûte que coûte, le résultat désiré. Nous avons vu un puddleur du pays de Galles présenter à son patron,

(1) *Improvements in the manufacture of iron*. A. D. 1861, 24 juillet, n° 1863.

qui s'occupait d'essais absurdes pour améliorer le fer, une barre de première qualité qu'il déclarait provenir d'une fonte de la pire qualité, et dont il attribuait entièrement la supériorité aux améliorations proposées.

MM. Faraday et Stodart ont fondu de l'argent et de l'acier; ils ont constaté les résultats suivants (1) : lorsqu'on maintient pendant longtemps en fusion un mélange de ces métaux, un alliage parfait semble se former; mais en se solidifiant, il apparaît à la surface des globules d'argent pur qui se sont dégagés de la masse. Quand une barre de cet alliage est attaquée par l'acide sulfurique étendu, l'argent reste en filaments, « de manière à offrir l'aspect d'un faisceau de fibres d'argent et d'acier unies par soudage. » Les fibres ont quelquefois $0^{m}.003$ de long. Après avoir été chauffés pendant très-longtemps à une température élevée, les parois et le haut du creuset se sont revêtus d'une rosée de petits globules d'argent. L'argent et l'acier avaient été fondus dans les proportions suivantes :

(I) Argent, 1, et acier, 160. Les culots consistaient en acier avec fibres d'argent. Des globules d'argent adhéraient à la surface; quelques culots produisaient encore, par le forgeage, plus de globules. Des barres faites avec ce mélange s'oxydaient rapidement à l'air humide. (II) Argent, 1, et acier, 200: fibres et globules en abondance. (III) Argent, 1, et acier, 300: fibres moindres, mais encore visibles. (IV) Argent, 1, et acier, 400 : fibres encore visibles. (V) Argent, 1, et acier, 500 : le culot était parfait sans aucune apparence d'argent à la surface, ni aucunes traces de dépôt sous forme de gouttelettes sur les parois et sur le couvercle du creuset; on ne put distinguer aucunes fibres dans une barre forgée et traitée par un acide, même à l'aide d'un fort grossissement. Le métal, quoique très-dur, se martelait très-bien et fut reconnu

(1) *Quarterly Journ. of Science, Litterature, and the Arts*, t. IX, p. 325; 1820.

« décidément supérieur au meilleur acier. » On attribuait cette supériorité à « la combinaison d'une petite portion d'argent, » dont on constata la présence dans toutes les parties de la barre. On fit un essai sur une plus grande échelle, en fondant $3^k.63$ de « très-bon acier indien » avec 1/500e de son poids d'argent pur. Le lingot « avait un meilleur aspect à la surface et dans la cassure ; il était plus dur que le meilleur acier fondu et même que le wootz indien, sans qu'on pût le faire criquer par le martelage ni par la trempe (1). » Faraday et Stodard ont conçu une haute idée de la valeur de cet alliage ; mais l'expérience ne l'a pas sanctionnée. Ils ont en vain essayé d'allier l'acier et l'argent par cémentation, en mettant dans un creuset un petit morceau d'acier entouré d'une feuille d'argent dans la proportion de 160 : 1 ; le creuset, rempli de verre blanc pilé, fut maintenu pendant trois heures à une chaleur blanche : l'argent se fondit et adhéra à l'acier, mais sans combinaison.

FER ET OR.

L'or et le fer s'allient facilement. On croyait autrefois que la ductilité et la malléabilité de l'or étaient altérées, voire même détruites, par l'addition d'une très-petite quantité de fer, jusqu'à ce que Hatchett eût prouvé par les expériences suivantes que cette opinion était erronée (2) :

N° 1. De l'or fin fut fondu avec 8.3 pour 100 de fil de fer décapé, et, après avoir mélangé le tout, on le coula en barre dans un moule de fer graissé. L'alliage était d'un gris jaunâtre pâle, tirant au blanc terne; il était très-ductile et par le laminage il se réduisait très-facilement de l'épaisseur de $0^m.006$ à celle d'une guinée ; on put alors très-facilement le découper à l'emporte-pièce en flans qui se frappaient très-faci-

(1) *Phil. Trans.*, p. 257; 1822.
(2) *Phil. Trans.*, p. 37; 1803.

lement, bien que le métal n'eût pas été préalablement recuit.

N° 2. On ajouta à de l'or fin en fusion 8.3 pour 100 d'acier fondu en plaque mince. L'alliage ressemblait sous tous les rapports au premier.

N° 3. De l'or fin fut fondu avec 8.3 pour 100 de fer sous forme de clous. On fit l'expérience de la même manière, et l'alliage offrit les mêmes caractères que le numéro 2.

Hatchett en conclut que l'or, *titré* avec du fer, de l'acier ou de la fonte, c'est-à-dire allié dans la proportion de 22 d'or à 2 de l'un ou l'autre de ces métaux, ne devient pas cassant, quoique sa dureté augmente, puisqu'il peut être martelé, laminé et estampé sans avoir été recuit.

Selon Faraday et Stodart, l'or forme un bon alliage avec l'acier (1). Les essais de cet alliage, n'ayant été faits qu'en petit, les ont laissés très-indécis sur sa valeur. La densité d'un alliage d'acier forgé avec 1 pour 100 d'or est de 7.870.

FER ET PLATINE.

Le fer et le platine paraissent bien s'allier; tout docimaste qui a chauffé dans un creuset de platine un composé quelconque de fer susceptible de se réduire, a dû s'en convaincre. Le fer retient le platine avec énergie, et il est généralement inutile, pour l'enlever, de le faire bouillir avec de l'acide chlorhydrique, ou de le fondre avec du bisulfate de potasse, etc. Grâce à un pareil traitement, on rend la surface très-brillante; mais en réchauffant au rouge, la présence du fer se manifeste par le noircissement de la partie intérieure où l'alliage existe. La connaissance de l'action du fer sur le platine à des températures élevées n'est pas sans importance pour les maîtres de forge; il y a peu de temps encore, un fabricant

(1) *Quarterly Journal,* déjà cité, p. 329.

d'acier suggérait, dans une leçon sur le fer, la possibilité de substituer à ce métal le platine dans les laitiers des fours à puddler (1) !

D'après Faraday et Stodart, l'acier et le platine s'allient en toutes proportions, et le platine se fond, au contact de l'acier, à une température à laquelle l'acier lui-même n'est même pas affecté : ils ont observé les résultats suivants (2) :

N° 1. Acier, 50, et platine, 50. L'alliage est magnifique et possède « la couleur la plus belle » pour la fabrication des miroirs ; il prend un très-beau poli, est malléable et ne se ternit pas ; sa densité est de 9.862.

N° 2. Acier, 20, et platine, 90 : alliage parfait, malléable, n'offrant aucune tendance à se ternir et d'une pesanteur spécifique de 15.88.

N° 3. Acier, 80, et platine, 10. L'alliage de qualité excellente fut poncé et bien poli, mais il ne pouvait convenir aux miroirs, à cause de sa surface damassée. Après être resté exposé à l'air pendant plusieurs mois, il n'y avait pas une seule tache à sa surface, tandis qu'un alliage d'acier et de nickel combiné dans les mêmes proportions s'était rouillé dans ces conditions. La densité de l'acier allié avec 10 pour 100 de platine, est de 8.100, et celle d'un alliage d'acier forgé avec 1.5 pour 100 de platine, de 7.732.

Des fils d'acier et de platine, de diamètre à peu près égal, furent mis en paquet et fondus avec autant de facilité que du fer et de l'acier. En attaquant légèrement avec un acide la surface polie d'une barre ainsi forgée, « on fit apparaître une nouvelle surface, où l'acier et le platine formaient des nuages foncés et clairs d'un fort bel effet. » Quelques-uns des nuages

(1) *Extracts from Miscellaneous observations on the Manufacture of Iron*, etc. *By Richard Solly, of the Leabrook Iron Works, Staffordshire, and of Sheffield A paper read before the Geological and Polytechnic Society of the West Riding of Yorkshire.* « Si le platine devenait assez abondant et assez bon marché, il remplirait probablement ce but. » (Page 11.)

(2) *Quarterly Journal*, déjà cité.



aciéreux paraissaient consister en un alliage des deux métaux résultant de la cémentation.

Dans des expériences en grand faites à Sheffield, d'après les instructions de Faraday et Stodart, on fondit 4k.500 de bon acier indien avec 1/100 de platine spongieux. Les barres étaient remarquablement lisses et offraient une belle cassure. L'alliage était moins dur, mais il avait beaucoup plus de corps que celui de 3k.600 d'acier avec 1/500 d'argent. L'acide sulfurique étendu l'attaquait rapidement (1). Si l'on immerge un morceau d'acier et un morceau d'alliage de platine dans le même acide faible pendant le même temps, ce dernier dégage cent fois plus de gaz que le premier. L'acier acquiert cette propriété quand il est allié à une très-petite quantité de platine : 1/400 développe l'attaque considérablement ; avec 1/200 et 1/100, elle est vive ; avec 10 pour 100, l'action n'est pas très-énergique ; avec 50 pour 100, elle n'est pas plus forte qu'avec l'acier seul ; et un alliage de 90 de platine et 20 de fer n'est pas attaqué par l'acide. Quand deux morceaux d'alliage de platine, l'un dur et l'autre mou, sont abandonnés, pendant quelques heures, dans le même acide sulfurique étendu, le morceau dur se revêt « d'une poussière métallique d'un noir de charbon, et sa surface devient généralement fibreuse, » tandis que le morceau mou se revêt « d'une matière d'un gris métallique plombagineuse, douce au toucher, » facile à couper, et excédant en quantité sept ou huit fois celle adhérant au morceau dur. La poudre de l'alliage mou, quand elle n'est pas restée longtemps dans l'acide, ressemble exactement à de la plombagine à l'état de division ; en présence du fer, elle s'oxyde par le séjour à l'air et se décolore. Après être restée longtemps, ou après avoir bouilli dans l'acide, elle est réduite au même état que la poussière de l'alliage fabriqué avec l'acier durci. Par l'attaque à l'acide azotique, un résidu noir se produit, qui, après avoir été

(1) *Phil. Trans*, déjà cité, p. 257.

soigneusement lavé et séché, est très-détonant : il contient beaucoup de platine et très-peu de fer. Enveloppé dans du fer blanc et chauffé, il fait explosion avec fracas, déchire l'enveloppe et produit une faible lueur. Projeté à la surface de mercure chauffé, il fait facilement explosion à 204.4° C., mais avec difficulté à 187.7° C. Quand la température est élevée graduellement, il ne détone pas, mais il se décompose peu à peu. Si on le fait détoner au fond d'un tube de verre chauffé, beaucoup d'eau et de fumée se produisent et le résidu consiste en platine métallique avec très-peu de fer et de carbone.

Un brevet a été récemment accordé à M. W. Longmaid pour des « perfectionnements dans la fabrication du fer et de l'acier (1) » qui consistent à allier le fer ou l'acier avec de petites quantités d'or ou de platine, ou des deux métaux à la fois. Le breveté assure qu'avec 3/16 à 5/10 d'une once d'or ou de platine, ou de l'un et de l'autre réunis, « on améliore sensiblement la densité, la ductilité et la ténacité du fer ou de l'acier. » On ne comprend pas très-bien ce que veut dire « améliorer la densité. » Le breveté a coulé une cloche de métal très-sonore, en ajoutant jusqu'à 85 grammes d'or par tonne de fer ; mais, sauf ce cas, il ne juge pas utile d'introduire plus de 14 grammes d'or ou de platine, ou des deux métaux à la fois, par tonne de fer ou d'acier. Pour les pièces moulées ordinaires, il ajoute environ 7 grammes d'or ou de platine, ou de l'un et de l'autre à la fois, par tonne de fonte ; mais pour des moulages durs, il ajoute 14 grammes ou davantage. En puddlant, il introduit l'or ou le platine à raison de 7 grammes environ par tonne de fonte employée, lorsque le métal *se fait*, c'est-à-dire quand par la décarburation il s'est converti en fer malléable. En faisant de l'acier puddlé, la poudre merveilleuse est ajoutée de la même façon. Dans la fabrication du fer malléable ou de l'acier fondu par d'autres procédés que le

(1) A D. 1861, janv. 24, n° 196.

puddlage, la poudre est introduite « *à un moment quelconque du procédé*, pendant que le métal est encore fluide; » et pour l'acier fondu, « on la fait fondre avec l'acier dans des creusets ou autrement. » Le breveté a soin de reconnaître qu'on avait déjà proposé d'allier de l'or ou du platine avec de l'acier; et dans son opinion, « les tentatives antérieures n'avaient donné aucun résultat utile, » parce qu'on s'était servi d'or ou de platine « en trop grandes quantités, » jusqu'à plusieurs kilogrammes par tonne d'acier. Quel acier coûteux que celui-là! Mais on ne saurait objecter la question de prix aux prétendues « améliorations » de M. Longmaid, qui peut bien passer pour le Hahnemann de la métallurgie. Avant de devenir son disciple, nous nous permettrons de demander des preuves de l'efficacité de son traitement. Dans la spécification provisoire d'un autre brevet, M. Longmaid (1) indique l'addition en petite quantité pendant l'affinage ou le puddlage d'aluminium ou de magnésium; mais cette addition a été omise dans le brevet définitif.

D'après Gueymard, certaines variétés de fonte de la Savoie sont platinifères (2).

FER ET RHODIUM.

Faraday et Stodart ont allié de l'acier fondu avec du rhodium qui leur avait été fourni par le Dr Wollaston (3); ces métaux s'associent en toutes proportions. L'acier ainsi allié est caractérisé par une dureté remarquable et par une ténacité suffisante pour l'empêcher de se criquer à la forge ou à la trempe. Pour tremper des outils tranchants fabriqués avec cet alliage, il est nécessaire de les chauffer à 16,6° C. de plus que le meilleur wootz, qui exige une température de 22,2°

(1) A. D. 1861, n° 1863.

(2) *Ann. de la Chambre Royale d'agriculture et de commerce de Savoie*. Chambéry, 1858, p. 449. Extrait du rapport de la 24e session du *Congrès scientifique de France*.

(3) *Quarterly Journal*, déjà cité, p. 329.

plus élevée que le meilleur acier fondu anglais. La densité de l'acier martelé, contenant 1.5 pour 100 de rhodium, est de 7.795. L'acier fondu avec un poids égal de rhodium « donne un culot qui offre au poli une surface de la plus grande beauté. » La couleur de cet alliage serait « la plus convenable que l'on puisse imaginer » pour les miroirs métalliques ; il ne se ternit pas à un séjour prolongé à l'air et sa densité est de 9.176 (1). Les alliages d'acier et de rhodium sont regardés, par Faraday et Stodart, comme étant « peut-être les plus précieux de tous. »

FER ET PALLADIUM.

Faraday et Stodart ont fondu 1^{k}.80 d'acier avec 1/100 de palladium ; cet alliage « aurait vraiment de la valeur, surtout pour les instruments qui exigent un tranchant d'une douceur parfaite (2). » Nous ignorons s'il a été l'objet d'autres expériences. Il y a quelques années, le palladium était fourni en assez grande abondance par l'Amérique du Sud, et son prix de vente variait de 90 à 100 francs par kilogramme ; mais depuis il est devenu fort rare, et il coûte aujourd'hui deux fois plus que l'or fin. Quiconque serait disposé à tenter d'autres essais d'alliage de ce métal avec l'acier, pourrait tirer parti des faits suivants :

On ne peut pas fondre le palladium dans un fourneau à vent ordinaire, mais seulement avec le gaz oxygène. D'après M. Cock, qui a acquis une grande expérience dans l'extraction de ce métal, il ne s'oxyde pas à l'air à la température ordinaire, ni au rouge vif, mais il s'oxyde au rouge sombre et sa surface se colore de la même manière que le fer ou l'acier. Chauffé ainsi pendant quelque temps, il se revêt d'un oxyde brun cassant, qui se réduit cependant à une température très-peu supérieure à celle où il se forme (3).

(1) *Phil. Trans.*, déjà cité, p. 256.
(2) *Phil. Trans.*, p. 254.
(3) *Phil. Mag.*, t. XXIII, p. 18; 1843.

FER ET IRIDIUM-OSMIUM.

Faraday et Stodart ont fondu du fer pur avec 3 pour 100 d'iridium-osmium, et en ont obtenu un culot qui, forgé, poli et exposé dans une atmosphère humide où se trouvaient d'autres pièces de fer, d'acier et de divers alliages, fut le dernier à se rouiller. Sa couleur était d'un bleu tranché ; chauffé au rouge et plongé dans l'eau, il se durcit sans qu'on puisse y découvrir du carbone (1).

FER ET ALUMINIUM.

Suivant M. Deville, le fer et l'aluminium se combinent directement en toutes proportions. Les alliages contenant de 7 à 8 pour 100 de fer sont durs, cassants et cristallisent en longues aiguilles. L'alliage à 10 pour 100 de fer ressemble beaucoup au tersulfure d'antimoine (SbS^3) ; par liquation, cet alliage donne un résidu peu fusible et de l'aluminium moins ferrifère (2). Les outils de fer employés pour brasser l'aluminium fondu se revêtent d'une couche adhérente et brillante de ce métal. L'alliage fait en chauffant 10 parties en poids d'aluminium avec 5 de protochlorure de fer et mélangé de 20 parties de chlorures de sodium et de potassium, est cristallin ; par l'action de l'acide chlorydrique très-étendu, il donne des prismes à six pans, un peu corrodés et de la couleur du fer. En le faisant bouillir longtemps dans une solution de soude caustique, tout l'aluminium se dissout et le fer reste dans la liqueur. Il ne décompose pas l'eau à 100° C., mais il se rouille à l'air humide. On a trouvé par l'analyse qu'il contenait 52.14 pour 100 de fer et 45.37

(1) *Phil. Trans.*, déjà cité, p. 268.
(2) *De l'Aluminium ; ses propriétés, sa fabrication et ses applications*, par M. H. Sainte-Claire Deville. Paris, p. 40, 1859.

pour 100 d'aluminium, de sorte qu'il peut à peu près se représenter par la formule $FeAl^2$, qui donne 50.51 pour 100 de fer et 49.49 pour 100 d'aluminium (1). MM. Calvert et Johnson, de Manchester, ont publié leurs diverses expériences sur les alliages de fer et d'aluminium (2). « Le premier alliage de fer et d'aluminium a été obtenu en chauffant à blanc, pendant deux heures, le mélange suivant :

8	équivalents de chlorure d'aluminium. . . .	69gr.76
40	— de limaille de fer fin.	72 .55
8	— de chaux.	14 .50

« On ajouta de la chaux au mélange afin d'enlever le chlore du chlorure d'aluminium et pour mettre l'aluminium en liberté. En formant un chlorure fusible de calcium et en soustrayant la chaux des proportions indiquées, nous aurions dû obtenir un métal composé de :

1	équivalent d'aluminium.. . . .	14 =	9.09
5	— de fer.	140 =	90.91
		154 =	100.00

tandis que l'alliage trouvé au fond du creuset était pour 100 parties comme il suit :

Aluminium.	12.00
Fer.	88.00
	100.00

ce qui conduit à la formule suivante :

1	équivalent d'aluminium..	11.11
4	— de fer.	88.89
		100.00

Cet alliage était très-dur et se rouillait exposé à une atmosphère humide ; on pouvait néanmoins le forger et le souder. »

(1) *Ueber krystallisirte Verbindungen des Aluminiums mit Metallen, Inaugural dissertation. Ferd. Reinh. Michel.* Göttingen, p. 33, 1860.
(2) *Phil. Mag.*, octob. 1855.

Comment la chaux (l'oxyde de calcium) peut-elle enlever le chlore du chlorure d'aluminium, sans oxyder en même temps l'aluminium? C'est ce qu'on ne dit pas.

En recommençant l'expérience avec addition de poussier de charbon très-fin, MM. Calvert et Johnson ont trouvé un alliage consistant en 87.91 pour 100 d'aluminium et 12.09 pour 100 de fer. Dans le résidu de chlorure de calcium et de charbon, on voyait des globules très-nombreux de diverses dimensions, depuis celle d'un gros pois jusqu'à celle d'une tête d'épingle; ils étaient très-durs, aussi blancs que de l'argent et ne se rouillaient pas à l'air humide, ni lorsqu'on les exposait aux « vapeurs hypo-azotiques; » ils se composaient de 24.55 pour 100 d'aluminium et 75.45 pour 100 de fer, correspondant à la formule Al^2Fe^3. Les auteurs ajoutent : « Le fer prenant la place de l'oxygène qui existe dans l'alumine, cet alliage a donc la même composition que l'alumine (!). » Le fer se dissout par l'action de l'acide sulfurique faible, abandonne l'aluminium en globules, de même que dans l'alliage primitif. Les auteurs laissaient entrevoir d'autres résultats, mais nous ignorons s'ils ont tenu promesse.

Faraday et Stodart ont cru avoir réussi à préparer un alliage de fer et d'aluminium par la réduction directe de l'alumine; et comme le sujet peut avoir un grand intérêt pratique, nous relatons leurs expériences *in extenso*. « En faisant chauffer pendant longtemps à une chaleur intense de l'acier pur en petits fragments, et d'autres fois du fer de bonne qualité mélangé avec du poussier de charbon, ils obtinrent des carbures d'une couleur grise métallique très-foncée, ressemblant au minerai noir de tellure et très-cristallins. Les facettes des petits culots qui ne pesaient pas plus de 30 grammes, avaient souvent plus de $0^m.003$ de largeur. Les résultats de plusieurs analyses accusèrent une composition qui parut très-uniforme, 94.36 de fer + 5.64 de carbone. Après avoir brisé le produit et

l'avoir trituré dans un mortier, on le mélangea avec de l'alumine pure et le tout fut chauffé fortement dans un creuset fermé. Le creuset retiré du fourneau et ouvert, on y trouva un alliage de couleur blanche, à grain serré et très-cassant; à l'analyse, il donna 6.4 (=3.41 d'aluminium) pour 100 d'alumine et une quantité de carbone qui ne fut pas exactement déterminée. On fondit ensemble 700 parties de bon acier avec 40 parties de cet alliage; le culot était parfaitement malléable; forgé en une petite barre et poli, il prit par l'acide sulfurique étendu, le beau damassé qui appartient spécialement au métal wootz. Une deuxième expérience avec 500 parties du même acier et 67 d'alliage d'alumine, produisit un alliage également bon; il se forgeait bien et se damassait. Cet échantillon a tous les caractères appréciables du meilleur wootz de Bombay (1). »

Le wootz, précédemment analysé par Faraday (2), contenait de 0.0128 à 0.0695 pour 100 d'aluminium; il en conclut que le damas de cet acier indien bien connu est dû à la présence de ce métal. Karsten analysa du wootz naturel sans pouvoir y découvrir de traces appréciables d'aluminium. Il décrit sa méthode d'analyse, qui paraît très-correcte, et il est embarrassé pour comprendre comment, dans l'analyse de Faraday, toute l'alumine s'est trouvée dans le résidu insoluble par l'eau régale, d'autant plus que ses propres expériences sur l'action de cet acide sur le wootz ne lui avaient indiqué que des traces de silice insoluble (3). T.-H. Henry, expérimentateur minutieux et digne de foi, n'ayant pas réussi à découvrir la plus légère trace d'aluminium dans le wootz, insinua que l'aluminium trouvé par Faraday pouvait provenir de scories disséminées et contenant du silicate d'alumine; car il avait remarqué dans le wootz en petits gâteaux ronds, pareils à

(1) *Quarterly Journal*, déjà cité, p. 320.
(2) *Quarterly Journal*, t. VII, p. 228; 1819.
(3) T. I, p. 484.

ceux sur lesquels Faraday avait opéré, « des petites parcelles de scories mélangées si intimement avec le métal, qu'on ne pouvait les en séparer. » Il préféra donc analyser une portion d'une barre faite avec du wootz; dégagée plus ou moins de toute scorie par le forgeage (1). Mais, dans l'analyse d'un échantillon de wootz, Faraday avait obtenu de l'alumine *sans silice*.

Or, d'après la remarque de Karsten, il n'est pas douteux que Faraday trouva dans son analyse du wootz une substance possédant les propriétés caractéristiques de l'alumine, quelque difficile qu'il soit d'expliquer la présence de cette substance dans le résidu insoluble; il ne peut y avoir de doute non plus que les échantillons de wootz sur lesquels Karsten et Henry avaient opéré étaient exempts d'aluminium. La conclusion est donc que la qualité de cet acier ne dépend pas, ainsi que Faraday et Stodart l'ont cru, de la présence de l'aluminium. Mais que doit-on penser « d'un alliage d'alumine » (où la proportion d'alumine a été déterminée par l'analyse) et du fait que l'addition de cet alliage à l'acier produit un métal identique sous tous les rapports au wootz? C'est en tous cas un témoignage très-sérieux, puisqu'il est fourni par un des observateurs les plus attentifs et les plus consciencieux que l'on connaisse.

Pour que le lecteur puisse bien apprécier, en ce qui concerne l'alumine, les résultats de Faraday, nous donnons maintenant le résumé de sa propre description du procédé. Le wootz avait été fourni par sir Joseph Banks, et le morceau du poids de 10gr.62, sur lequel Faraday opéra, avait été détaché du milieu du gâteau chauffé au rouge-cerise, de façon qu'il était dans le même état qu'au sortir du creuset du fabricant indien. On le fit bouillir dans un flacon avec de l'eau régale, où il se dissout peu à peu avec séparation de flocons de couleur foncée,

(1) *Phil. Mag.*, t. IV, p. 42; 1832.

inaltérables même dans l'acide bouillant. Lorsque toute action eut cessé, on décanta la liqueur et le dépôt fut lavé à l'eau distillée. Pendant le lavage, le dépôt se réduisit en poussière noire qui tombait au fond et en flocons d'un brun rougeâtre qui restaient suspendus et que l'on trouva formés d'une matière charbonneuse soluble dans la potasse caustique. Ces deux substances furent séparées et examinées à part. La poudre noire fut fondue avec de la potasse dans une capsule d'argent, et le produit traité par l'eau ; on en obtint une solution claire alcaline et une poussière brune, qui consistait principalement en argent détaché de la capsule. La solution fut saturée par de l'acide chlorhydrique et évaporée à siccité ; le résidu fut redissous dans l'eau aiguisée par un peu d'acide chlorhydrique ; un très-petit nombre de flocons blancs furent laissés intacts; ils étaient insolubles dans les acides et ils avaient les caractères de la silice. Par l'addition de carbonate de potasse, la solution produisit un précipité abondant; on le lava et lorsqu'il eut été chauffé avec une petite solution de potasse, il se dissout comme de l'alumine. On ajouta alors de l'acide sulfurique et on recueillit une solution d'alun, avec un peu de silice, qui se précipita. Dans une deuxième expérience, Faraday opéra sur 40 grammes d'acier indien tel qu'il l'avait reçu de l'Inde. « Son aspect, après l'attaque de l'acide, était très-différent de celui du wootz. » Il donna 0.024 pour 100 d'alumine et pas de silice. Faraday opéra aussi sur 27 grammes du meilleur acier anglais, mais « il ne put y découvrir de terres. » Finalement la solution parut légèrement opaque, mais il s'assura que cette opacité était causée par l'alumine contenue dans les réactifs employés. « Bien des expériences comparatives, dit Faraday, furent répétées avec les trois variétés d'acier : celles de l'Inde paraissaient toujours très-distinctes quant à l'espèce et à la quantité des terres, et l'acier anglais ne donnait invariablement aucunes terres; il n'y avait donc plus la moindre raison de supposer que les terres

provenaient des réactifs, comme cela avait eu lieu tout d'abord (1). »

Dans ses analyses de diverses espèces de fer malléable, d'acier et de fonte, Karsten a rarement découvert de l'aluminium, sinon, en quantités inappréciables. Sa méthode d'analyse est celle ordinairement usitée : on fait dissoudre dans l'eau régale et on évapore à siccité; le résidu repris par de l'acide chlorhydrique est dissous dans l'eau filtrée ; on précipite par l'ammoniaque ; on redissout le précipité dans la quantité la plus petite possible d'acide chlorhydrique ; puis on fait bouillir avec excès de potasse ; on étend avec beaucoup d'eau ; on filtre ; on rend la liqueur acide par de l'acide chlorhydrique et enfin on ajoute un excès de carbonate d'ammoniaque.

Karsten a fait en grand trois expériences pour s'assurer de l'action produite par l'addition de l'alumine à la charge de fonte affinée au charbon de bois. L'opération fut retardée par la formation en plus grande quantité de silicate de protoxyde de fer; mais il n'en résulta pas d'effet nuisible pour la qualité du fer en barre, où l'analyse indiquait à peine des traces d'alumine (2). Karsten doute qu'aucune réduction d'alumine puisse se faire dans le haut fourneau ; et il en conclut que l'alumine amoindrit la ténacité du fer, puisque le fer marchand contenant les plus fortes traces d'alumine est toujours cassant.

Le mot *damas*, appliqué à l'acier, est familier à la plupart de nos lecteurs, mais tous n'en connaissent peut-être pas la signification. Il sert à désigner les dessins qu'on voit à la surface de certaines variétés d'acier poli, telles que les lames de Damas. La définition de Johnson indiquerait l'origine de ce terme : « Tissu de toile ou de soie inventé à *Damas*, dont une partie, par la direction variée des fils, représente des fleurs ou d'autres arabesques (3). »

(1) *Quarterly Journal*, t. VII, déjà cité.
(2) T. I, p. 483.
(3) *A Dictionary of the English language*, Longman and Co, 1805.

Admettant cette définition, il s'agit de savoir si le mot *damas*, appliqué à l'acier, dérive, non pas du lieu de fabrication, mais de la ressemblance qui existe entre le damasquiné en question et les figures damassées des tissus. Il est plus probable que son origine vient de la localité.

FER ET CHROME.

On doit à Berthier tous les renseignements que nous possédons sur les composés de ces deux métaux (1). Il a constaté que le fer et le chrome s'allient en toutes sortes de proportions, que les alliages sont très-durs, cassants, à texture cristalline, « d'un blanc plus gris et plus éclatant, » moins fusibles, beaucoup moins magnétiques et beaucoup moins attaquables par les acides que le fer. Ces propriétés sont d'autant plus prononcées que l'alliage renferme plus de chrome. L'alliage composé de 17 pour 100 de chrome, représenté par la formule Fe^3C^2, est d'un blanc presque argentin, à structure fibreuse, difficilement attaquable par les acides et très-cassant. L'alliage qui contient 60 pour 100 de chrome se fond en un culot bien arrondi, rempli de grosses bulles, tapissées de cristaux prismatiques allongés et entrecroisés; il est plus blanc que le platine et si fragile, qu'on peut le réduire en poudre fine dans un mortier d'agate; sa dureté est telle, qu'il raye le verre aussi profondément que le peut faire un diamant; il est très-difficilement attaquable par les acides les plus forts, même par l'eau régale. Berthier dit qu'on produit facilement ces alliages en chauffant très-fortement dans des creusets brasqués des mélanges d'oxydes de fer et de chrome; et quand ce dernier domine, il est bon d'ajouter un peu de poudre de charbon au mélange pour faciliter la réduction. Si l'on opère sur une quantité un peu grande, il convient de mélanger aux oxydes la quantité de poussier de charbon nécessaire pour la réduire.

(1) *Traité*, t. II, p. 214.

On peut aussi préparer ces alliages en employant les minerais de fer chromé; mais dans ce cas, il faut y ajouter un fondant qui puisse retenir la silice et l'alumine de ces minerais. On réussit très-bien en employant 100 parties de verre blanc (exempt de plomb) et 40 de borax pour 100 de minerai. Selon M. Frémy, on obtient un alliage de fer et de chrome en chauffant dans un fourneau à vent de l'oxyde de chrome et du fer métallique; il cristallise souvent en longues aiguilles; il ressemble à la fonte et raye les corps les plus durs, même l'acier trempé (1). Comme le chrome, ses alliages avec le fer sont connus pour résister à l'action des acides concentrés.

M. Smith a fait dans notre laboratoire les expériences suivantes : il s'est servi d'hématite rouge presque pure, de sesquioxyde de chrome préparé en chauffant ensemble du chlorure d'ammonium et du bichromate de potasse lavé à l'eau chaude et calciné. On mêla intimement les quantités pesées dans un creuset français brasqué et l'on remplit la cavité de poussier de charbon; le tout fut bien luté et soumis à une chaleur blanche pendant deux heures.

Les proportions de chacun des essais étaient de :

	I.	II.	III.	IV.
	Gram.	Gram.	Gram.	Gram.
Hématite	12.31	9.72	9.72	3.24
Sesquioxyde de chrome	0.65	3.24	9.72	9.72
Carbone	(*) 3.24	(*) 3.24	(**) 4.86	(**) 3.24
Poids du métal obtenu	9.85	9.39	14.83	9.52

(*) Poussier de charbon. (**) Poussier d'anthracite.

Composition pour 100 de métal :

Fer	(*) 95.76	72.93	45.37	23.42
Chrome	4.24	(*) 27.07	(*) 54.63	(*) 76.58

(*) Carbone présent, quantité indéterminée.

En supposant que l'hématite contienne 70 pour 100 de fer, le sesquioxyde de chrome 69 pour 100 de chrome, et que la

(1) *Comptes rendus*, t. XLIV, p. 632; 1857.

totalité des métaux se sépare sans fixer de carbone, les culots métalliques auraient dû peser respectivement 8gr.87, 9.00, 13.47 et 8.94, et contenir 95, 75.2, 50.3 et 25.3 pour 100 de fer; correspondant ainsi à la formule $Fe^{19}Cr, Fe^{3}Cr, FeCr, FeCr^{3}$.

Exp. 1. ***Résultats.*** — Culot bien fondu, avec globules; attirable à l'aimant, avec traces de cristaux s'entrecroisant à la surface extérieure; dur, se criquant sous le marteau et rayant le verre; à cassure blanche et brillante, avec lamelles cristallines s'étendant en travers de la surface cassée. Mis en digestion avec de l'acide sulfurique dilué ou chlorhydrique, il dégage de l'hydrogène fétide et laisse des traces de résidu noir. Le chrome seul a été déterminé.

Exp. 2. ***Résultats.*** — Culot bien fondu, avec globules; attirable à l'aimant; dur et rayant le verre; fragile, se réduit facilement en poussière; cassure d'un blanc d'étain, très-brillante, très-grenue et cristalline. Par l'ébullition avec les acides sulfurique et chlorhydrique, le métal s'attaque difficilement : il se dégage de l'hydrogène fétide; une écume se forme à la surface de la dissolution et laisse un résidu qui résiste à l'action prolongée des acides. Ce résidu décomposé par des fusions successives avec un mélange de chaux et de nitre, contenait 1.71 pour 100 de métal, par rapport à la quantité totale de fer présent, et dans un autre dosage, 6.34 pour 100. Le fer seul fut déterminé dans l'alliage.

Exp. 3. ***Résultats.*** — Culot un peu spongieux, avec globules métalliques; insensible à l'aimant, dur, rayant le verre; facilement pulvérisable; à cassure très-grenue, brillante et d'un blanc grisâtre. Action des acides, identique au n° 2. Le résidu contenait, relativement à la quantité totale du fer présent, 5.37 pour 100; et dans un autre essai, 7.69 pour 100. Le fer fut seulement déterminé.

Exp. 4. ***Résultats.*** — Masse spongieuse, imparfaitement fondue, moins cohérente que le n° 3; insensible à l'aimant; très-dure, rayant le verre; facile à écraser et à réduire en pous-

sière ; d'un blanc gris jaunâtre, d'un éclat un peu terne. Le centre du culot était rempli de petits cristaux en forme d'aiguilles, ayant une surface de réflexion brillante. L'action des acides sur l'alliage était identique au n° 2. Le résidu contenait, eu égard à la quantité totale du fer présent, 6.95 pour 100 ; et dans une autre expérience, 0.61 pour 100. Le fer seul fut déterminé.

Berthier a constaté que l'addition de 1 ou de 2 pour 100 de chrome communique à l'âcier fondu, sans diminuer sa malléabilité, de la dureté et la propriété de prendre un très-beau damassé.

Faraday et Stodart ont étudié l'effet du chrome sur l'acier par les essais suivants (1) :

N° 1. On fondit un mélange de 104 grammes d'acier avec 104 grammes de chrome pur que l'on tint en fusion pendant quelque temps. Le culot bien venu se forgeait quoique dur, sans manifester aucune tendance à se criquer. L'alliage aurait dû contenir 0.99 pour 100 de chrome. La surface, décapée par l'acide sulfurique étendu, paraissait cristalline ; en traitant de même le métal forgé, on obtint un « très-beau damassé » attribuable à l'allongement des cristaux sous le marteau.

N° 2. On fondit comme auparavant un mélange de 104 grammes d'acier avec 3^{gr}.10 de chrome pur. Le culot aurait dû contenir 2.91 pour 100 de chrome. Il était beaucoup plus dur que le dernier, aussi malléable que du fer pur et prenait aussi un très-beau damassé, « qui disparut au polissage, mais qui fut restauré par la chaleur, sans recourir à aucun acide. La surface damassée, colorée alors par l'oxydation, avait un aspect singulier ; sa beauté augmentait en chauffant le métal de manière à faire ressortir toutes les couleurs de l'oxydation, depuis la couleur paille jusqu'au bleu, c'est-à-dire entre 239° C. et 315° C. environ. »

M. Mushet a pris un brevet pour « l'addition et la fusion avec

(1) *Phil. Trans.*, déjà cité, p. 267.

tout mélange de matières produisant de l'acier fondu, d'une certaine quantité d'un mélange de fonte pulvérisée, de fonte de moulage, ou de fer affiné et d'oxyde de manganèse, avec du minerai de chrome pulvérisé ou de l'oxyde de chrome » avec ou sans addition de « wolfram pulvérisé, ou d'acide tungstique (1). »

Nous ne connaissons pas d'expériences sérieuses sur l'action du chrome sur la fonte. Karsten a examiné du fer marchand provenant de fonte contenant une petite quantité de chrome, mais il ne réussit pas à y découvrir la moindre trace de ce métal, d'où il semble résulter que, dans le procédé d'affinage au charbon de bois, tout le chrome se sépare.

FER ET TUNGSTÈNE.

Le tungstène fut isolé pour la première fois, en 1783, à l'état métallique par les frères d'Elhuyar, nés en Espagne. Ils communiquèrent leurs recherches à l'Académie des sciences de Toulouse, le 24 mars 1784, dans un admirable mémoire, bien digne d'être encore étudié aujourd'hui (2). Ils essayèrent de préparer des alliages de tungstène en chauffant l'acide (WO^3) et les métaux dans des creusets brasqués. Ils décrivirent ses composés avec l'or, le platine, le cuivre, le plomb, l'étain, l'antimoine, le bismuth, le zinc, le manganèse et la fonte blanche, mais ils n'avancèrent rien de ceux avec le fer malléable ni l'acier. Quant au fer, ils se bornent à dire que, « avec « le fer de la fonte blanche, il se forme un culot parfait, dont « la cassure est compacte et d'un blanc grisâtre. Il était dur, « aigre et il pesait 137 grammes. » Ils le préparèrent en réduisant à une température élevée de l'acide tungstique par du car-

(1) *Improvements in the manufacture of Cast-Steel*. A. D. 1861. 19 juillet, n° 1817.

(2) *Mémoire sur la nature du wolfram et celle d'un nouveau métal qui entre dans sa composition*, par MM. D'Elhuyar frères, correspondants, lu le 24 mars 1784. *Histoire et Mémoires de l'Académie royale des sciences, inscriptions et belles-lettres de Toulouse*, t. II, p. 141 ; 1784.



bone. M. Riche a seul réussi à fondre le tungstène, à l'aide d'un courant fourni par une batterie de 200 éléments ordinaires de Bunsen appartenant à la Faculté des sciences de Paris. Dans ces conditions, une grande partie du métal s'oxyde avec une flamme d'un bleu verdâtre. M. Riche a constaté qu'il se fond aussi et très-rapidement au chalumeau à gaz oxy-hydrogène ; mais alors la plus grande partie du métal s'oxyde et se dissipe en vapeurs d'acide tungstique. D'après le même observateur, le tungstène, provenant de l'acide tungstique réduit par l'hydrogène, est en grains cristallins, nets, brillants, qui prennent un beau poli et rayent facilement le verre (1). Nous pouvons ajouter que nous avons consacré, il y a bien des années, beaucoup de temps à des recherches expérimentales sur certains composés ou alliages de tungstène, dont les résultats seront rapportés plus loin. Nous n'avons pu réussir à fondre ce métal aux températures les plus élevées des fourneaux à air, ou du fourneau à vent de Sefström. En réduisant à une chaleur rouge le tungstate d'ammoniaque cristallisé, dans un courant d'hydrogène, nous avons obtenu le métal sous forme de cristaux d'un éclat métallique brillant, avec une couleur d'étain blanc. Nous ne savons pas si l'azote joue un rôle dans ce résultat. MM. Aikin et Allen avaient publié depuis longtemps ce fait que, par la réduction des cristaux aciculaires de tungstate d'ammoniaque, on obtient le métal en grains arrondis, « de la dimension d'une tête « d'épingle et d'un éclat métallique très-brillant (2). »

L'alliage composé de 63 pour 100 de fer et de 37 pour 100 de tungstène, c'est-à-dire correspondant à la formule Fe^6W, est décrit par Berthier, comme étant d'un gris plus blanc que le fer, éclatant, dur, plus cassant que la fonte ordinaire et à structure lamellaire ; il était un peu bulleux (3). Les observations suivantes sur le triple alliage de fer, de manganèse et de

(1) *Thèse présentée à la Faculté des sciences de Paris*, par M. Alfred Riche ; p. 13, 1857.
(2) *A Dictionnary of Chemistry and Mineralogy*, by A. and C. R. Aikin ; t. II, p. 445, 1807.
(3) *Traité*, t. II, p. 215.

tungstène sont également dues à Berthier. Le wolfram, minéral bien connu, très-fortement chauffé au creuset brasqué, donne un alliage composé de 16.4 pour 100 de fer, 5.8 de manganèse et 77.8 de tungstène ; c'est-à-dire correspondant à peu près à la formule $Fe^{8}MnW^{4}$. Il exige pour se fondre la plus haute température des fourneaux ; il est dur, cassant et lamelleux, et ressemble à de la fonte blanche. Avec 14 parties en poids de wolfram et 9.5 parties de battitures de fer, Berthier obtint un alliage composé de 43.4 pour 100 de fer, 3.5 de manganèse et 53.1 de tungstène, correspondant à peu près à la formule $Fe^{12}MnW^{4}$; il était dur, cassant, lamelleux, gris de platine, et complétement fusible.

En 1844, le duc de Luynes publia un mémoire sur la fabrication de l'acier fondu et damassé (1). Dans huit analyses, sur neuf qu'il a données des diverses variétés d'acier damassé oriental, la présence du tungstène est indiquée ; dans six de ces analyses, des traces métalliques seulement ont été reconnues, tandis que des deux autres variétés, l'une en contient 0.518 pour 100 et l'autre exactement 1 pour 100. Le nickel paraît être l'élément dominant ; il varie depuis des « traces » jusqu'à 3.9355 pour 100, et la teneur en carbone excède tellement celle qui a été trouvée par des observateurs dignes de foi, même dans la fonte la plus carburée, que — la plus petite proportion étant de 7.758 pour 100 et la plus grande 13 pour 100, — l'exactitude de ce chimiste peut être mise en suspicion.

Cependant il a fait plusieurs expériences synthétiques dont l'énoncé peut offrir quelque intérêt.

1. Un mélange de 2000 parties en poids de fer doux à clous, avec 100 de wolfram et 175 de sciure de chêne, chauffé au rouge vif dans un creuset brasqué donne un produit bien fondu ; refondu avec un poids égal de fer à clous, l'acier était très-malléable et bien damassé.

(1) *Mémoire sur la fabrication de l'acier fondu et damassé*, par H. de Luynes ; Paris, 1844, cité par le *Polytechnischer Journal* de Dingler, t. XCXVI, p. 108 ; 1845.

2. Un mélange de 3000 parties de fer à clous avec 144 de carbonate de protoxyde de manganèse, 150 de wolfram et 270 de sciure, traité exactement de la même manière, conduisit au même résultat.

3. Un mélange de 1000 parties de fer à clous avec 48 de carbonate de protoxyde de manganèse, 10 d'acide tungstique, 10 d'oxyde de nickel et 113 de sciure, donna un bon résultat; mais l'acier était plus difficile à travailler que celui fait avec du wolfram; il se damassait néanmoins très-bien. L'absence de nickel et du manganèse n'influa pas sur la qualité.

4. Un mélange de 2000 parties de fer à clous avec 100 de peroxyde de manganèse et 275 de sciure, produisit un très-bel acier bien damassé.

5. Un mélange de 1000 parties de fer à clous avec 96 de carbonate de protoxyde de manganèse, 20 d'acide tungstique et 128 de sciure, produisit une masse d'acier d'assez mauvaise qualité et poreux, mais on pouvait le travailler et lui faire prendre un magnifique damassé.

D'autres expériences avec des composés manganésés, et celles rapportées plus haut, amenèrent l'auteur à conclure que le damas dépend entièrement de la présence du manganèse; — cette conclusion, il est à peine besoin de le faire observer, sera admise par peu de personnes. — L'auteur fait la remarque assez surprenante que par la réduction de la pyrolusite cristallisée au creuset brasqué, il a obtenu du manganèse contenant 23 pour 100 de carbone et 2 de nickel!

Les alliages de fer et de tungstène ont été étudiés par Bernouilli; ses essais ont eu lieu à la fonderie royale de fer de Berlin (1). Il ne réussit pas à fondre du tungstène aux températures les plus élevées et capables de fondre les creusets de Hesse; mais il obtint une masse frittée d'un éclat métallique brillant. Dans un cas, le métal fut chauffé pendant dix-huit heures, au

(1) *Ueber Wolfram und einige seiner Verbindungen*; von Dr. F. A. Bernouilli. *Ann. d. Phys. u. Chem.* Poggendorf, t. XXI, p. 573; 1860.

fourneau à porcelaine sans se fondre. La densité du tungstène provenant de l'acide tungstique réduit par le carbone varie entre 17.1 et 17.3, et celle du métal après réduction par l'hydrogène, entre 17.9 et 18.2. Des mélanges intimes de copeaux de fonte grise graphiteuse d'Angleterre, et 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 40 et 50 pour 100 d'acide tungstique pur, furent soumis au blanc vif dans des creusets de graphite et lorsque la proportion d'acide excédait 20 pour 100, une couche mince de poussier de charbon de bois était placée au fond du creuset et au-dessus du mélange. On pensait qu'avec cette proportion, le carbone de la fonte suffirait pour réduire l'acide tungstique. Avec 75 pour 100, il fallut l'exposer à la chaleur blanche la plus intense pendant une heure et demie, afin d'avoir un culot fondu; et avec 80 pour 100, chauffé à la même température pendant trois heures, on eut seulement une masse poreuse, irrégulière, dont la cassure était conchoïde et d'une belle couleur blanc d'argent; sans angles vifs, elle était assez dure pour rayer facilement le verre et le quartz. Avec 1 à 3 pour 100, il y eut peu de changement dans l'aspect du fer, mais avec 4 et 5 pour 100 il n'est guère plus perceptible. Avec 10 pour 100, le fer acquiert des propriétés analogues à celles de l'acier; il rend un son très-clair, sa couleur est gris clair et sa cassure à grains très-fins; il est un peu malléable. Avec 15 pour 100, on peut le regarder comme de l'acier pur, quoiqu'il ne soit pas assez malléable pour être utilisé. Il est très-dur; une barre fondue, mince et rectangulaire de cet alliage se forge aisément en burin, et après l'avoir trempé comme de l'acier ordinaire, on peut tailler avec facilité de la fonte et du fer forgé sans l'ébrécher. Avec 20 pour 100, l'alliage a les mêmes propriétés, mais il est plus dur et moins malléable. Au delà de 20 pour 100, la malléabilité diminue rapidement, et avec 50 pour 100, l'alliage ne peut plus être martelé. Si l'on emploie de la fonte en gros fragments compactes, même avec 30 pour 100 d'acide tungstique, l'alliage devient blanc, très-dur et cassant; il

reprend pourtant un peu de malléabilité, après avoir été recuit. Lorsqu'on substitue de la fonte grise au bois à de la fonte au coke, — matière employée dans les expériences précédentes, — on a exactement les mêmes résultats, sauf que le produit est de meilleure qualité, par suite de la plus grande pureté de la fonte au bois. Les résultats sont au contraire très-différents avec la *fonte blanche* spiegeleisen, ou ordinaire. On répéta la même série d'expériences, en traitant cette fonte blanche par de l'acide tungstique, mais il ne se produisit d'alliage de tungstène qu'à la condition d'ajouter du poussier de charbon; sans cette addition, presque tout l'acide passe dans la scorie et une très-petite quantité du métal s'incorpore seulement dans le fer. Les alliages avec addition de charbon qu'il convient de mettre au fond du creuset, sur le fer, sont homogènes comme ceux provenant de la fonte grise, quoiqu'ils n'aient jamais l'apparence de l'acier, car leur cassure est blanche et leur structure est la même que celle du fer employé. On fit encore des expériences avec du tungstène métallique, du wolfram et de la scheelite (CaO,WO^3): les résultats furent les mêmes, sauf que le manganèse du wolfram avait quelque influence. M. Bernouilli formule les conclusions suivantes : « Le carbone graphitique ou mélangé mécaniquement dans la fonte peut seul réduire l'acide tungstique, et le carbone combiné n'a point cet effet. Ainsi, en fondant des copeaux de fonte grise avec une proportion convenable d'acide tungstique, on peut produire directement de l'acier fondu. Lorsqu'on se sert de fonte grise en morceaux, il ne se fait pas d'acier, parce que le fer se fond et que le contact intime entre le fer et l'acide requis pour que la quantité convenable de carbone soit enlevée, s'en trouve empêché. Lorsqu'on ajoute plus d'acide tungstique qu'il n'en faut pour brûler tout le carbone, l'alliage dégage cependant, par l'action des acides, une odeur d'hydrocarbure. » M. Bernouilli a résumé ses résultats dans le tableau ci-après :

VARIÉTÉS de FONTE EMPLOYÉE.	ACIDE TUNGSTIQUE ajouté pour 100.	CARBONE CONTENU DANS LE FER				PROPRIÉTÉS PHYSIQUES des ALLIAGES.
		Mécaniquement mélangé.	Chimiquement combiné.	TOTAL.	Carbone dans l'alliage pour 100.	
Fonte grise.....	0	3.19	0.92	4.11	...	Cassure grise ; non malléable.
	5	...	...	...	1.02	
	15	...	...	...	0.93	Acier.
	25	...	...	...	0.91	
	60	...	...	...	0.94	Gris, très-dur et résistant, non malléable.
Spiegeleisen.....	0	...	5.19	5.19	...	
	5	...	...	...	5.18	
	15	...	...	...	5.09	Blanc, très-dur et cassant.
	25	...	...	...	4.92	
	60	...	...	...	4.93	
Fonte ordinaire blanche......	0	...	3.91	3.91	...	
	5	...	...	...	3.70	
	15	...	...	...	3.81	Blanc, très-dur et cassant.
	60	...	...	...	3.75	

Action du wolfram sur la fonte. — Une série d'expériences faites en 1864, à la fonderie de la marine à Nevers, pour connaître l'action du wolfram sur les fontes au charbon de bois, a prouvé qu'elles acquièrent ainsi plus de ténacité, ainsi qu'on l'avait vu précédemment pour des fontes au coke. Ces dernières, contenant habituellement des substances étrangères, telles que du soufre et du phosphore, avaient pû être épurées par la présence du wolfram ; et quelques personnes, attribuant à cette cause l'amélioration produite, pensaient qu'il n'en serait pas de même avec des fontes au charbon de bois très-pures.

Les nouveaux essais ont porté : 1° sur une fonte de Raveau (Nièvre) d'excellente qualité ; 2° sur des fontes d'artillerie de Nevers et de Ruelle, ainsi nommées parce qu'on les emploie dans ces usines à fabriquer des bouches à feu.

Les épreuves avaient lieu à la poudre, sur des cylindres creux qu'on faisait éclater et auxquels, par des procédés d'une grande précision, l'on donnait les mêmes épaisseurs et le même vide intérieur. Chaque cylindre exigeait 80 kilogrammes de métal, et sa fonte s'effectuait pour chacun dans les mêmes circonstances de brassage et de durée, afin que tout fût égal de part et d'autre. Les proportions de wolfram de l'alliage ont été de 1 1/2, 2 et 2 1/2. La supériorité de résistance s'est maintenue constamment du côté de la fonte alliée. Pour s'assurer si elle ne provenait pas d'un effet de décarburation exercée par le wolfram, on a multiplié les expériences en donnant à la fonte pure des nuances de plus en plus claires, par des additions de fonte de seconde fusion de Nevers et de Ruelle et en éprouvant ces diverses nuances. Les additions étaient poussées jusqu'au point où elles cessaient d'être avantageuses. Mais par ces divers moyens on n'a pu donner au métal une force égale à celle qu'il recevait du wolfram. Une analyse faite à l'Ecole des mines a, du reste, constaté la présence et la quantité du tungstène existant dans les cylindres.

Il résulte de ces faits que le wolfram exerce sur la fonte une action

spéciale, indépendante de la nuance ou de la décarburation et due à l'alliage du tungstène. Cependant l'effet produit a été inférieur à celui obtenu par les fontes au coke, d'où l'on peut conclure qu'une partie de l'action du wolfram sur ces dernières appartient, en effet, à l'épuration.

L'augmentation de ténacité s'est élevée à environ 1/6 avec les fontes de Raveau et 1/7 avec celle de Ruelle. Il se peut que ce chiffre soit au-dessous du maximum possible, les essais s'étant bornés à rechercher la cause de l'amélioration. (*Moniteur*, 18 novembre 1864.) (*Note des traducteurs.*)

En 1857, M. Robert Oxland, de Plymouth, a pris un brevet pour des perfectionnements apportés à la fabrication des alliages ou des composés contenant du tungstène; voici quelques-uns des points spécifiés dans ce brevet (1). Le wolfram réduit par le carbone, « peut être mélangé avec de la fonte dans un four à coupole, 30 de métal pour 100 environ de fer. On peut employer l'alliage de fonte et de tungstène en métallurgie, ou pour faire de l'oxyde bleu de tungstène et de l'acide tungstique... On obtient de bon acier fondu en fondant 1/2 à 25 pour 100 de métal wolfram avec l'acier... Les alliages de fer et de métal wolfram peuvent être affinés et convertis en acier fondu par la cémentation ordinaire. La fonte du wolfram affinée perd son grain cristallin quand elle est martelée à froid. » Le même brevet spécifie aussi l'alliage du tungstène avec l'argent allemand et le nickel; si ce n'est pas là une invention, nous ne savons guère ce que vaut une invention. En 1848, nous avons communiqué à l'Association britannique à Swansea les résultats de nos expériences sur les alliages de tungstène avec différents métaux, parmi lesquels l'argent allemand et le nickel furent particulièrement mentionnés (2). Nous avions constaté que ces alliages, si on peut les appeler ainsi, étaient sans valeur; mais en supposant qu'il en fut autrement, nous aurions pensé que toute communication faite à l'Association britannique, neuf ans avant la date du brevet de

(1) Extrait des *Abrégés des spécifications relatives aux métaux et aux alliages*, 1168, p. 337. A. D. déc 1857, nº 3114.

(2) *British Association Report*, p. 57, 1848

M. Oxland, aurait dû être considérée comme du domaine public, même aux yeux de la loi complaisante des brevets.

L'application du tungstène à l'acier fondu attira de bonne heure l'attention, surtout en Autriche ; et c'est à M. Mayer, de Leoben, en Styrie, qu'on attribue le mérite de l'avoir pratiquée le premier en grand (1). L'acier de tungstène, ou de wolfram, fut annoncé comme une invention importante ; sa finesse de grain, son uniformité de structure, sa dureté, sa force et sa durée constituaient sa supériorité sur tous les aciers. On l'adopta spécialement pour diverses espèces d'outils, ciseaux, instruments tranchants et perçants, etc. ; et quoiqu'il fût un peu plus cher que l'acier adopté pour de pareils objets, il durait quatre fois autant et coûtait moins que l'acier fondu anglais. Au Congrès des mineurs et des fondeurs tenu à Vienne, en 1858, on exposa de l'acier wolfram sous différentes formes. Il y avait des lames de sabres regardées comme parfaites quant à la qualité du métal ; elles étaient très-tranchantes, dures, résistantes et flexibles. Notre collègue, M. W. Smyth, assista à ce congrès et nous rapporta des échantillons dont la cassure était en effet très-fine, uniforme, compacte et conchoïde. Nous en avons fait adresser quelques-uns à notre ami M. E.-F. Sanderson, fabricant d'acier renommé à Sheffield ; mais le rapport qu'il nous fit sur ses qualités, n'est pas favorable. L'acier wolfram ne manqua pas de figurer dans le département autrichien à l'Exposition internationale de 1862 ; mais on n'en fit pas l'étalage qu'on aurait dû s'attendre à y rencontrer, si une partie de ses mérites s'était confirmée. Nous avons demandé à ce sujet des renseignements au professeur Tunner, de Leoben ; sa réponse se borna à des signes de tête plus expressifs que de longs commentaires. Personne en effet ne pouvait mieux dire la vérité sur cet acier que M. Tunner, et il n'y a pas d'homme au jugement duquel nous attachions plus d'importance. Le rap-

(1) *Berg. u. hütten. Zeit*, t. XVIII, p. 275 ; 1859.

port récent de M. Wagner confirme cette opinion. Il expose que les espérances conçues sur « l'industrie de l'acier wolfram, » ne se sont guère justifiées, et qu'on vend comme de l'acier wolfram des limes, des rasoirs, etc., qui ne contiennent pas de traces de tungstène (1). Malgré les efforts énergiques tentés pour utiliser cet acier, et les notices très-louangeuses qui ont paru, les faits sont démentis par la pratique. Viendrait-on à condamner définitivement cet acier, qu'il faudrait encore observer la plus grande réserve vis-à-vis des opinions des établissements pratiques. En effet, la conclusion à tirer des essais pratiqués aux ateliers de MM. Egels, Schwarzkopff, et Freund, de Berlin, dans les aciéries de Bochum et ailleurs, est que « *l'acier de tungstène fournit des résultats beaucoup plus avantageux que les meilleurs aciers fondus employés maintenant dans le commerce* (2). »

La ténacité ou la force de tension de l'acier tungstène paraît très-grande. Les résultats suivants ont été constatés à l'Institut impérial polytechnique de Vienne (3).

QUALITÉ DE L'ACIER.	SURFACE DE SECTION minimum en millimètres carrés.	POIDS déterminant la rupture.	TÉNACITÉ ABSOLUE.	
Acier tungstène........	41.64	4256	102.2	
Id.	40.25	4340	107.8	La rupture n'a pas lieu à la section minimum.
Id.	43.03	5040	117.1	
Acier anglais Huntsman.	38.17	3220	84.4	
Acier Reichraming......	43.03	3727	86.6	
Id.	43.03	4838	112.4	
Id.	44.41	4676	105.3	
Id.	45.58	4200	92.1	

M. Siewert a publié des analyses d'échantillons d'acier de

(1) *Jahresbericht*, 1860, p. 85.

(2) *Revue universelle des mines*, etc., mars 1860, p. 88. *Rapport sur l'histoire et la fabrication du tungstène*, par M. A. Delvaux de Fenffe.

(3) *Revue universelle des mines*, etc., t. VII, p. 88, 1860.

tungstène préparés à Vienne et dans les aciéries de Bochum (1).

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Fer......	—	—	95.85	—	96.37	—
Tungstène...	1.05	2.84	3.05	—	2.71	—
Manganèse. .	—	—	Traces.	—	Traces.	—
Carbone...	—	—	—	1.04	—	1.03

Le n° 1 provenait de Vienne et les autres numéros des usines de Bochum. On ne découvrit du silicium dans aucun des échantillons.

On a publié les instructions suivantes, sur la préparation et sur l'emploi du tungstène (2). On grille lentement le wolfram, puis on le traite par des acides étendus, et enfin on le lave à l'eau; on enlève par ce traitement l'arsenic et le soufre. On chauffe ensuite fortement pendant 24 heures, dans des creusets brasqués, le résidu sec, qui diminue en poids; des carbures de fer et de manganèse se forment, et l'acide tungstique se réduit à l'état métallique. On obtient une masse un peu frittée, d'une couleur foncée et d'une densité élevée. On en ajoute à l'acier de 1/2 à 25 pour 100 avant la fonte (*).

M. Robert Mushet a pris un brevet pour l'emploi dans la fabrication de l'acier fondu du tungstène à tous les états (3). Le tungstène, l'acide tungstique, ou les oxydes et les minerais de tungstène sont revendiqués par cet inventeur; mais il préfère le wolfram parce qu'il coûte moins cher et qu'il contient

(*) Il résulte des essais de M. Le Guen (*Répert. de Chim. appliq.*, 1863), que le minerai de wolfram français destiné à être allié au fer, doit être grillé pour le dépouiller le plus possible du soufre et de l'arsenic qu'il contient, puis pulvérisé. La réduction se fait au milieu de la masse liquide aux dépens du carbone de la fonte, et celle-ci, par la diminution de son carbone et l'alliage avec le tungsture, tend à se rapprocher de la nature de l'acier. (*Note des Traducteurs.*)

(1) *Jahresbericht* (suite par Liebig et Kopp), p. 690; 1860.

(2) *Berg. u. hütten. Zeit.*, t. XIX, p. 27; 1860.

(3) Voir *Abridgments of Specifications relating to Metals and Alloys*, 1861, p. 407. Le titre du brevet est : *An Improvement or improvements in the manufacture of Cast-steel.* A. D. 1859, 12 janvier, n° 101 ; 24 février, n°s 500 et 501 ; 18 mars, n° 690 et 691. A. D. 1861, 19 juillet, n° 1817.

du manganèse, qui facilite la fusion. Le wolfram doit être bien pulvérisé et s'il contient 70 ou 75 pour 100 d'acide tungstique, ou 60 pour 100 de tungstène, on le mélange avec un poids égal de brai fondu et on le verse sur une dalle de pierre mouillée. Il recommande en outre les proportions suivantes dans la fusion au creuset ordinaire et le moulage en lingots :

Acier cémenté, 20k.860; wolfram et brai, 0k.453; ou fer suédois, 19k.90; charbon en morceaux, 0k.227; wolfram et brai, 0k.453 à 1k.814; acier puddlé, 21k.763; charbon en morceaux 0.700; wolfram et brai, 0k45. Le fer ou l'acier est cassé en fragments. La dureté du métal augmente lorsqu'on emploie de plus grandes quantités de matières charbonneuses, ou de plus petites proportions de tungstène.

Après l'historique des essais de tungstène, il paraît douteux que M. Mushet ait le moindre droit de s'approprier seul et exclusivement l'emploi de ce métal dans la fabrication du fer ou de l'acier.

FER ET MOLYBDÈNE.

D'après Berthier, les composés de molybdène et de fer sont tout à fait analogues à ceux du fer et du tungstène. Il décrit comme fusible un alliage de fer avec 2 pour 100 de molybdène plus blanc que le fer, extrêmement dur, cassant, mais tenace et à cassure inégale et grenue (1). Berzélius affirme qu'un alliage par parties égales en poids de fer et de molybdène est dur, cassant, d'un gris bleuâtre, fusible au chalumeau, à cassure et à grain fin ; et qu'en outre un alliage de 1 partie de fer et 2 de molybdène est tendre, d'un gris vif, infusible au chalumeau, attirable à l'aimant et à cassure très-grenue (2).

(1) *Traité des Essais*, t. II, p. 215.
(2) *Traité*, t. II, p. 706.

FER ET VANADIUM.

Sefström découvrit le vanadium pur en analysant le fer bien connu de Taberg, qui, d'après Berzélius, est le plus doux de toutes les variétés de fer suédois (1). Par la dissolution de plusieurs kilogrammes de ce fer, il obtint à peine quelques décigrammes de vanadium; mais dans les scories des foyers d'affinerie au charbon de bois, il en trouva en plus grande quantité. Nous ignorons si l'on a recherché l'action de ce métal sur le fer, l'acier ou la fonte (*).

FER ET TANTALE.

Berzélius assure que le fer s'allie aisément avec le tantale, quand on chauffe dans un creuset brasqué de l'acide tantalique avec de la limaille de fer. L'alliage est assez dur pour rayer le verre; il n'a pas la moindre ductilité, cependant on le brise difficilement; la poussière est d'un brun foncé. Les acides le dissolvent partiellement en laissant le tantale métallique à l'état de poussière (2).

FER ET POTASSIUM.

Gay-Lussac et Thénard ont découvert un alliage de fer et de

(*) M. Riley a été amené à reconnaître la présence du vanadium dans certaines fontes du Wiltshire. Le résidu, insoluble dans l'acide chlorhydrique faible, débarrassé de la silice par l'action de la potasse et du graphite par combustion et provenant d'une fonte de Wiltshire, était un mélange d'acide vanadique VO^3 et de sous-oxyde de vanadium VO. D'après les calculs de M. Riley, la proportion de vanadium devait s'élever à 0.686 pour 100 (3).

M. Dick avait déjà signalé la présence de ce métal dans un laitier du Staffordshire. (*Note des Traducteurs.*)

(1) Berzélius, *Jahresber.*, t. II, p. 97; 1832.
(2) *Traité*, t. II, p. 707.
(3) *Journ. of the Chem. soc.*, 2e série, t. II, p. 21; 1864.

potassium, en préparant du potassium dans un tube de fer par le procédé connu. Il s'était formé, en exposant pendant longtemps à une température élevée, des copeaux de fer à la vapeur du potassium. Le fer ainsi allié est très-flexible et quelquefois assez mou pour se laisser couper avec des ciseaux et même rayer par l'ongle ; il s'oxyde à l'air, décompose l'eau avec une vive effervescence et reprend bientôt ses propriétés primitives (1).

MM. Calvert et Johnson ont annoncé qu'ils avaient allié le potassium avec le fer, en chauffant à une température très-élevée un mélange de limaille de fer et de bitartrate de potasse. Un mélange de 25 grammes de fer et 97^{gr}.50 de bitartrate, soit 3 équivalents de fer pour 2 de potassium, a donné un gros culot de 74.60 pour 100 de fer et 25.40 de potassium, correspondant à la formule Fe^4K. L'alliage ressemblait à du fer malléable ; il pouvait se forger et se souder ; toutefois, il était si dur, qu'aux températures ordinaires un marteau de forge y laissait à peine son empreinte et qu'il n'était guère entamé par la lime. Malgré son association avec une telle quantité de potassium, le fer de l'alliage s'oxydait rapidement dans l'eau et à l'air. Dans une autre expérience, avec les mêmes proportions de fer et de bitartrate de potasse, mais avec addition de charbon finement pulvérisé, il se fit un alliage consistant en 81.42 pour 100 de fer et 18.58 de potassium, correspondant à la formule Fe^6K. Une couche mince de fonte surmontait le culot ; mais, sous les autres rapports, il était identique au dernier. Lorsque du carbonate de potasse est substitué à du bitartrate, « on n'a pas de résultats. » Ces alliages, au point de vue de leur constitution atomique (2), semblent singulièrement définis.

(1) *Recherches physico-chimiques*, t. I, p. 238 ; 1811.
(2) *Phil. Mag.*, oct. 1855.

FER ET GLUCINIUM.

Suivant Stromeyer, on peut facilement allier ces métaux en chauffant fortement un mélange de glucine, de limaille de fer et de noir de fumée. Le composé est plus blanc et plus ductile que le fer (1). Davy obtint cet alliage en chauffant jusqu'au blanc de la glucine dans un mélange de fer et de potassium, et en décomposant par un courant énergique de la glucine légèrement humide dans une atmosphère d'hydrogène; le fil de fer du pôle négatif se fondit et s'allia avec le glucinium (2).

FER ET BARIUM.

Gay-Lussac et Thénard essayèrent de réduire la baryte mélangée avec du fer en la chauffant à une température très-élevée dans un fourneau à vent, avec addition et sans addition de charbon de bois, mais il n'y eut pas d'indice de réduction (3).

FER ET STRONTIUM.

Gay-Lussac et Thénard essayèrent encore de réduire la strontiane de la même manière que la baryte; le résultat fut également négatif (4).

FER ET CALCIUM.

Gay-Lussac et Thénard n'ont constaté aucun indice de séparation du calcium, en chauffant dans un bon creuset, à la température la plus élevée d'un fourneau à vent, un mélange de fer et de chaux, soit avec ou sans addition de charbon (5).

(1) Berzélius, *Traité*, t. II, p. 704. Gmelin *Hand.*, t. V, p. 275.
(2) Gmelin, *Handb.*, t. V, p. 274.
(3) *Recherches physico-chimiques*, t. I, p. 106.
(4) Ouvrage cité, p. 107.
(5) *Recherches physico-chimiques*, t. I, p. 107.

Berzélius ne produisit aucun alliage déterminé de fer et de calcium, en chauffant fortement un mélange de limaille de fer, de chaux et de poussier de charbon de bois (1). Karsten trouva 0.1774 pour 100 de calcium dans du fer, médiocre comme ténacité et qui ne se soudait pas, quoiqu'il ne fût cassant ni à froid ni à chaud. Ce fer provenait de l'addition en grande quantité de carbonate de chaux, pendant l'affinage au charbon de bois (2). Nous avons entendu dire à des directeurs de forges que, lorsqu'on emploie des calcaires pour la chemise intérieure des fours à puddler, le fer a une propension à être rouverain. On remarquera dans beaucoup d'analyses de fonte du calcium en petite quantité. Ce que nous savons de l'action directe de ce métal sur le fer, fer malléable, acier ou fonte, est extrêmement borné et peu sérieux.

FER ET MAGNÉSIUM.

En chauffant un mélange de magnésie, de limaille de fer et de charbon de bois en poudre, Berzélius a reconnu des indices d'un alliage de fer et de magnésium (3). Karsten ne découvrit pas de traces de magnésium dans le fer forgé qu'il analysa; et, autant que nos recherches nous ont permis de nous en convaincre, il n'y a pas de renseignement positif sur son action vis-à-vis du fer malléable. Dans les analyses de fonte publiées il paraît quelquefois comme un des éléments, mais en faibles proportions.

MINERAIS DE FER.

Les minerais de fer ainsi proprement appelés contiennent toujours le métal à l'état d'oxyde. Ils consistent en oxyde magnétique, en sesquioxyde, en sesquioxyde hydraté et en

(1) *Traité*, t. II, p. 704.
(2) T. I, p. 487.
(3) *Traité*, t. II, p. 705.

carbonate de protoxyde, à différents degrés de pureté. Ils sont distribués à profusion et sur de grandes étendues à la surface de la terre ; la plupart se rencontrent dans presque toutes les formations géologiques, en filons, en amas ou en couches. Pour décrire simplement les localités où gisent les minerais de fer du monde entier, il faudrait des volumes. Nous ne nous voulons offrir ici aucune description de ce genre, même en abrégé. Les points essentiels à considérer dans un Traité de la métallurgie du fer sont la composition des minerais et l'influence des diverses matières qu'ils renferment sur la qualité du métal qu'on en extrait; c'est sur ces différents points que nous appelons spécialement l'attention. Une exception sera pourtant faite pour les minerais de fer anglais et pour quelques minerais étrangers d'un intérêt particulier, que nous exposerons d'une manière très-détaillée.

Oxyde magnétique de fer, magnétite. Fe^3O^4, ou FeO,Fe^2O^3. — A l'état pur, il contient 72.41 pour 100 de fer. On le trouve cristallisé, en masses ou divisé à l'état de sable, plus ou moins distinctement cristallin. On rencontre quelquefois le minerai de fer chromé dans le même état, en petits cristaux octaédriques, et il peut très-bien être confondu avec le sable de fer magnétique; ce qui le distingue immédiatement du dernier, c'est qu'il n'est pas magnétique. L'oxyde magnétique constitue l'un des minerais de fer les plus importants, et celui qui produit les plus belles qualités d'acier. Il est très-répandu sur le globe, dans les roches ignées et métamorphiques. On le rencontre en abondance à Gellivara, dans le golfe de Bothnie, Laponie ; en Norwége ; à Dannemora, Taberg et autres localités de la Suède ; dans le Canada, à New-Jersey, en Pensylvanie et ailleurs dans les États-Unis.

A la dernière Exposition internationale de 1862, la collection des échantillons de minerai de fer magnétique du Canada, attira beaucoup l'attention.

Franklinite. — La formule de ce minéral est encore douteuse.

On le considérait comme essentiellement composé d'oxyde magnétique de fer, où le protoxyde de fer est partiellement remplacé par l'oxyde de zinc; mais, si l'analyse suivante de Rammelsberg est exacte, cette assertion n'est pas admissible(1).

Sesquioxyde de fer.	64.51 =	Fer.	45.16
Bioxyde de manganèse (M^nO^2).	13.51 =	Manganèse. .	9.38
Oxyde de zinc.	25.30 =	Zinc.	20.30
	103.32	(Oxygène. . .	25.16)
			100.00

La présence du protoxyde de fer peut se déduire de l'excès à l'analyse. Suivant Rammelsberg, il consiste probablement en $4Mn^2O^3,8Fe^2O^3,21FeO$, et $15ZnO$; sa composition peut être exprimée par la formule $3(FeO,ZnO,)+(Fe^2O^3,Mn^2O^3)$. La franklinite se trouve à New-Jersey (États-Unis), où elle y est traitée d'abord comme minerai de zinc; et plus tard le résidu passe au haut fourneau et produit un spiegeleisen caractéristique. Il en parut à l'Exposition de 1862 des échantillons de très-bonne qualité. Ce minerai a été recommandé pour corriger la propension des fers à casser à froid et à chaud. On affirme que la fonte de Pompton (New-Jersey), qui donne du fer très-rouverain, se transforme en fer à clou avec un mélange de 15 pour 100 de franklinite, et que de la fonte écossaise, produisant du fer cassant à froid, donne, quand il est puddlé avec un mélange de 20 pour 100 de franklinite crue, un fer d'une résistance extrême. Le zinc et le manganèse ou le zinc seul, en expulsant le soufre et le phosphore, écarteraient ainsi les causes qui rendent le fer cassant à chaud et à froid (2). Le mérite de cette découverte est attribué à M. Detmold (3); on en a beaucoup parlé à propos des échantillons présentés à l'Exposition de 1851. Il reste à décider,

(1) *Handb. der Mineralchemie*, p. 169; 1860.

(2) *The Iron manufacturer's Guide to the Furnaces, Forges and Rolling mills of the United States. By J. P. Lesley.* New-York, p. 425; 1859.

(3) *Professor Wilson's Report on the New-York Industrial Exhibition*, p. 55; 1854.

en ce qui concerne l'influence de la franklinite, s'il n'y a pas eu confusion entre le fait accompli et le motif de son accomplissement.

Hématite rouge, minerai rouge, sesquioxyde anhydre de fer. — A l'état pur, ce minerai contient 70 pour 100 de fer. Il se trouve cristallisé, constituant un minerai spéculaire, ou micacé, suivant les dimensions et le type des cristaux; il existe aussi à l'état massif, ou terreux, généralement en nodules réniformes ou botryoïdes, de structure plus ou moins fibreuse et rayonnée. A l'état de masses réniformes, le minerai est quelquefois désigné sous le nom de *minerai en rognons*. Quelques variétés sont dures, compactes et rudes au toucher; tandis que d'autres sont douces, pulvérulentes à un degré plus ou moins grand et graisseuses au toucher. La première variété contient souvent de la silice disséminée à l'état de quartz, en cristaux distincts, ou en très-petits cristaux agrégés. Lorsqu'il y a beaucoup de silice dans le minerai, sans quantité appréciable d'alumine, de chaux ou de magnésie, la fonte produite est riche en silicium. C'est là, rappelons-le, un point d'une grande valeur pratique pour le maître de forge. Dans le district de Whitehaven, on reconnaît deux variétés distinctes de minerai rouge : le minerai dur et le minerai doux. Le premier renferme généralement de la silice libre en grand excès, tandis que le dernier contient de la silice, qui, tout en étant libre, est associée à des bases terreuses disséminées dans la masse en quantité suffisante pour empêcher la réduction de beaucoup de silicium et la formation de fer très-siliceux. L'hématite rouge fait toujours une raie *rouge caractéristique* sur de la poterie non vernissée. Les magnifiques échantillons de minerai de fer spéculaire de l'île d'Elbe sont connus de tous les minéralogistes. On trouve du beau minerai micacé à Hennock et à Buckfastleigh, dans le Devonshire; nous en avons vu employer dans certaines fonderies au lieu de plombagine, pour lubrifier les moteurs. Les variétés massives et terreuses sont très-répandues;

on les rencontre en Angleterre principalement, dans le Lancashire et le Cumberland, enclavées dans le calcaire carbonifère. Aux Mumbles, près de Swansea, on exploite depuis longtemps un filon de minerai rouge dans le calcaire houiller. Dans le calcaire devonien de Berryhead, près de Brixham, il y a aussi un filon de minerai rouge associé à du sulfate de baryte. Nous en avons ramassé de beaux échantillons de cabinet, mamelonnés ou botryoïdes, que l'on ne doit pas confondre avec l'hématite brune de Brixham. Dans le département belge de l'Exposition de 1862, on remarquait de très-beaux spécimens de minerai rouge massif, de structure plus ou moins pisolithique, mais dont les grains arrondis étaient aplatis et non sphériques; ils règnent à la base du calcaire houiller qui émerge sur une longueur de plusieurs milles au sud de Liége et de Huy.

Hématite brune, minerai de fer brun, limonite sesquioxyde de fer hydraté. $2Fe^2O^3$, 3HO. — A l'état pur, il contient 59.89 pour 100 de fer et 14.44 pour 100 d'eau. Sous le terme générique d'hématite brune, on comprend toutes les variétés de minerai où l'élément essentiel est le sesquioxyde hydraté de fer. L'hématite fibreuse, d'un beau brun foncé, est un magnifique minéral, et sauf la présence de 0.5 à 5 pour 100 de silice, elle se rencontre souvent à l'état de pureté ; mais la plus grande partie des minerais de cette variété sont ocreux, d'un jaune brun, terreux, et peu intéressants par leur aspect.

La désignation de *limonite* paraît surtout s'appliquer à ces derniers. Les hématites brunes produisent toujours une raie d'un jaune brunâtre très-net, quand on en frotte un morceau de poterie non vernissée, et par ce caractère seul on peut immédiatement la distinguer de l'hématite rouge.

Les plus beaux échantillons d'hématite brune que nous ayons vus en Angleterre viennent de Restormel, en Cornouailles. Mais on exploite principalement ce minerai dans la forêt de Dean (Gloucestershire), où sans aucun doute il a été extrait depuis les

temps les plus reculés. Les remarques faites plus haut sur la présence de la silice dans le minerai rouge s'appliquent également au minerai de fer brun. Dans des échantillons d'hématite brune compacte qui nous furent envoyés de Bristol, il y a quelques années, provenant, dit-on, des environs, on remarquait des parcelles de quartz et du sulfate de baryte rougeâtre cristallisé, répandues assez uniformément dans la masse. Aux forges de Dowlais, on fondait, il y a très-peu de temps encore, une variété d'hématite (soit rouge, soit brune, nous ne savons pas au juste), qui contenait tant de sulfate de baryte, qu'un régule riche en sulfure de barium coulait hors du fourneau, entre le métal fondu et le laitier. L'hématite brune terreuse gîte avec abondance à l'état de dépôt superficiel dans l'oolithe du Northamptonshire, et récemment on a découvert dans le Lincolnshire un dépôt d'un aspect tout à fait semblable.

Les minerais de fer généralement traités en France et en Belgique appartiennent à la classe des hématites brunes terreuses. A l'Exposition de 1862, il y avait dans le département belge une collection complète de ces minerais, avec une étiquette portant sur chaque échantillon la quantité de fer pour 100. On pouvait en conclure que leur rendement moyen ne dépasse guère 30 pour 100. Ils ressemblent presque tous, par leurs caractères extérieurs, au minerai du Northamptonshire.

Le minerai des marais et les minerais des lacs de la Suède et de la Finlande sont essentiellement des hématites brunes ; ils seront décrits plus loin. Dans le Bas-Canada, on fond le minerai de marais aux forges de Radnor, dans la seigneurie du cap de la Madelaine, sur la rivière au Lard, tributaire du fleuve Champlain. La fonte y est surtout destinée à la fabrication des roues en fonte des chemins de fer ; des spécimens de ces roues furent envoyés à l'Exposition de 1862 ; elles avaient parcouru 150,000 milles sans accuser les indices d'une grande usure.

Carbonate spathique, minerai de fer spathique, carbonate cristallisé de protoxyde de fer. FeO, CO^2. — Il est anhydre et à l'état pur il contient 48.275 pour 100 de fer. Nous n'avons pas trouvé d'analyse de ce minéral, à l'état de pureté, digne de foi. Il contient, en général, une proportion considérable de carbonate de protoxyde de manganèse et de carbonate de magnésie. Rammelsberg établit les quatre classes suivantes de minerais spathiques : 1. De 0 pour 100 à 4 pour 100 de protoxyde de manganèse ; 2. de 6 à 11 pour 100 de magnésie ; 3. avec une plus forte proportion de manganèse ; 4. avec une proportion considérable de magnésie. Des exemples tirés des séries d'analyses de minerai spathique recueillies par Rammelsberg, sont rapportés ici (1) :

	I		II		III		IV	
	1	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Acide carbonique.........	38.16	38.41	39.2	40.3	38.22	38.35	42.10	39.51
Protoxyde de fer.........	60.00	53.06	53.5	45.6	43.59	36.81	44.56	51.15
Protoxyde de manganèse..	...	4.20	6 5	11.7	17.87	25.31	...	1.62
Magnésie................	...	2.26	0.7	2.4	0.24	...	11.65	7.72
Chaux..................	1.84	1.12	...	...	0.08	...	...	...
	100.00	99.05	99.9	100.0	100.00	100.47	98.31	100.00

1. *Sphærosidérite* compacte de Burgbrohl sur la « Laachersee ; » analyse de G. Bischof. — 2. Blanc, cristallisé, de Bieber, près de Hanau ; analyse de Glasson. — 3. De Vic-Dessos, Pyrénées ; par Berthier. — 4. D'Allevard, Isère ; par Berthier. — 5. *Sphærosidérite* dans le basalte de Alte-Birke, près d'Eisern, pays de Siegen ; par Schnabel. — 6. Ehrenfriedersdorf, Saxe ; par Magnus. — 7. De Schaller Erbstolln, à Pöhl, en Saxe Voigtland ; par Fritzsche. — 8. De Mitterberg, Tyrol ; par Khuen.

Le gisement le plus renommé et le plus important de minerai

(1) *Handb. der Mineralchemie*, p. 222.

spathique, en Europe, est celui du Erzberg, près d'Eisenerz, en Styrie, où il existe en énormes quantités ; il y est exploité depuis les temps les plus reculés. Le minerai est souillé par une petite quantité de fer et de pyrite de cuivre. Au Stahlberg, près de Müsen, en Prusse, on trie la pyrite à la main. Dans tous les cas, le minerai est grillé avec soin avant d'être fondu ; par le grillage, le soufre est chassé si efficacement, que ce qui en reste ne nuit pas à la qualité du fer. Le pays de Siegen, est également riche en minerai de fer spathique ; une série d'échantillons magnifiques figurait à l'Exposition de 1862 dans le département du Zollverein. On le trouve en Angleterre, dans les collines de Brendon et à Exmoor, dans le Sommersetshire. Ce minerai a joui longtemps d'une grande réputation, dans la fabrication des fontes manganésifères appropriées à la production de l'acier (*).

Minerais de fer argileux, carbonates terreux impurs de protoxyde de fer. — Leur nom vient de leur aspect argileux. Ils sont compactes, à structure terreuse, d'une couleur variant du brun clair au noir ; souvent ils sont traversés par des fissures remplies de matières qui diffèrent du minerai lui-même. Lorsqu'ils sont bruns foncés ou noirs et qu'ils contiennent une proportion considérable de matière charbonneuse, c'est-à-dire 10 pour 100 environ et au-dessus, on les désigne sous le nom de *black band.* Cette espèce de minerai consiste essentiellement en carbonate de protoxyde de fer en mélange intime avec diverses matières, dont les plus fréquentes sont le carbonate de protoxyde de manganèse, le carbonate de chaux, le carbonate de magnésie, le silicate d'alumine à l'état d'argile, la potasse, l'acide phosphorique, le soufre à l'état de bisulfure de fer, des matières organiques avec un peu

(*) Ce minerai existe en couches puissantes dans les Pyrénées-Orientales, au Canigou, aux mines du *Boulet*, de *Roccas Negras*, de *la Pinouse*, montagne de Batère, et dans la vallée de Prades, à la mine de *Torrens ;* il est remarquable par sa richesse et sa grande pureté. (*Notes des Traducteurs.*)

d'eau combinée. Ils sont stratifiés dans les schistes houillers en nodules ou en couches continues et exploités sur une grande échelle dans les houillères du Yorkshire, du Derbyshire, du Warwickshire, du Staffordshire-nord, du Staffordshire-sud, du Worcestershire, de Clee Hills, du pays de Galles-sud, du pays de Galles-nord et enfin de l'Ecosse. Les minerais argileux abondent dans le lias du Yorkshire; on en trouve aussi dans le Wealden, d'où on les extrayait autrefois pour les traiter dans le Sussex; on en connaît aussi des couches dans les falaises d'Hasting, et on le ramasse en abondance, en galets roulés, sur les bords de la mer. Les minerais argileux existent dans les terrains tertiaires, et les pêcheurs draguent sur les côtes de l'île de Wight des masses arrondies de minerai de cette formation; ces minerais sont transportés aux usines à fer d'Ebbw-Vale; ils se vendent, rendus à Cardiff, 12 fr. 50 c. la tonne.

Le schiste dans lequel la plupart des minerais houillers sont enfouis, y adhère avec une grande ténacité; mais il se décompose et s'en détache par l'action atmosphérique. La durée du séjour à l'air, nécessaire à la séparation du schiste, varie beaucoup avec les minerais des différentes localités. Dans le pays de Galles-sud, l'adhérence du schiste motive de nombreuses plaintes.

Les exploitants des houillères et des minerais du calcaire carbonifère feraient bien de ne jamais rejeter les matières dont ils ne connaissent pas sûrement la nature. Ainsi des minerais autrefois rebutés comme tout à fait impropres ont été repris dans ces dernières années; l'analyse y indiquait en effet de fortes proportions de fer et ils ont ainsi acquis une valeur considérable. Nous citerons un exemple frappant du minerai de fer associé à la houille, connu dans le district de Merthyr-Tydvil, sous le nom de *duffryn brass*. Il y a peu d'années seulement qu'on s'assura de sa nature; ce minerai est pesant, pierreux et d'un gris brunâtre; il se vend jusqu'à 17 fr. 50

la tonne. M. E. Riley nous a communiqué l'analyse d'un échantillon de ce minerai :

Carbonate de protoxyde de fer	58.48
Carbonate de protoxyde de manganèse. .	0.71
Carbonate de chaux	10.68
Carbonate de magnésie.	21.90
Phosphate de chaux.	0.09
Bisulfure de fer..	0.09
Charbon.	8.95
	100.90

Un autre exemple remarquable est celui du *black-band* d'Écosse, qui a fait la fortune des maîtres de forges écossais. Sa nature et sa valeur ne furent bien appréciées que vers l'année 1800, par Mushet, à qui l'on doit en outre beaucoup de renseignements précieux sur l'histoire du développement et des progrès de la fabrication du fer dans la Grande-Bretagne. Mushet d'ailleurs a fait de nombreuses et importantes recherches expérimentales sur le traitement et le travail du fer; à l'époque où il vivait, ces recherches qui lui prenaient un temps précieux en dehors des affaires qu'il dirigeait, n'en méritent que plus d'éloges.

A l'Exposition de 1851 des échantillons de *black-band* d'Écosse attirèrent, d'après notre collègue M. W. Smyth, l'attention d'un fonctionnaire des mines de Prusse, qui reconnut très-peu de temps après en Westphalie l'existence d'un minerai identique rejeté jusqu'alors comme du schiste sans valeur. Plus tard encore on découvrit que des minerais de cette localité contenaient jusqu'à 40 pour 100 de phosphate de chaux.

Les espèces minérales dont nous avons constaté la présence dans les minerais argileux du terrain houiller, sont : la pyrite de fer, la pyrite de cuivre, la blende, la galène, la millérite (sulfure capillaire de nickel) et le sulfate de fer. La blende tapisse accidentellement ou remplit plus ou moins les fissures

du minerai. Nous avons remarqué dans des nodules géodiques de la blende en très-grande quantité, injectée dans les crevasses dirigées vers l'extérieur, tandis qu'il n'en existait pas dans celles du centre ; ce qui indiquerait clairement que la blende a été introduite par l'eau. On a trouvé de la millérite dans les cavités des minerais de fer du district de Merthyr-Tydvil, notamment dans la plus profonde des trois couches qui constituent la mine de *Spotted-vein* à Ebbw-Vale, Blaina et Pontypool.

Voir l'*Addition N° I des Traducteurs*. (Description des minerais de la Grande-Bretagne.)

TABLEAUX DES ANALYSES DE MINERAIS DE FER ANGLAIS.

La première Exposition internationale de 1851 contenait une collection très-complète et très-intéressante de minerais anglais, recueillis à grands frais et avec beaucoup de peine par notre ami, M. S.-H. Blackwell, de Dudley; elle fut offerte plus tard au Muséum de géologie pratique. M. Blackwell mit en outre à notre disposition la somme de 12,500 francs pour solder les frais d'analyses des plus importants de ces minerais. L'offre fut acceptée, et les services de deux habiles chimistes, MM. Allan B. Dick, d'Edimbourg et John Spiller, de Londres, furent immédiatement réclamés. M. Edward Riley nous prêta également son concours, mais peu de temps après il fut nommé chimiste aux usines de Dowlais. MM. Dick et Spiller ont travaillé pendant deux à trois ans sans interruption. Des analyses additionnelles ont été faites ultérieurement dans notre laboratoire par M. Charles Tookey, qui avait également acquis une très-grande expérience et sur les résultats duquel on peut compter. Il est presque inutile d'ajouter que la somme de 12,500 francs ne suffit pas pour couvrir les dépenses qui se rattachaient à ces recherches assidues. L'excédant a été couvert en partie par les 1,250 francs que le gouvernement alloue à notre laboratoire et en moindres proportions par nous. Le choix et la préparation des échantillons analysés furent confiés, à la requête de son frère, le donateur de la collection, à M. Kenyon Blackwell. Lorsque le minerai provenait de deux couches contiguës exploitées à la fois, on composait l'échantillon à analyser d'un poids égal de chaque couche. Quelques analyses, ajouterons-nous, ont été faites sous nos yeux à la demande et aux frais de particuliers par M. Tookey. Une série d'analyses des minerais de fer de Dowlais, par M. Riley, nous a été communiquée par la compagnie des forges de Dowlais, et d'autres aussi par E. Rogers, d'Abercarn, près de New-



port, dans le Monmouthshire. D'autres analyses enfin ont été empruntées à diverses publications, principalement au précieux mémoire *sur les expériences de la fonte*, présenté à la Chambre des Communes, le 30 juillet 1858 : elles ont été exécutées dans le laboratoire de l'arsenal de Woolwich, sous la direction de M. Abel, et en partie, croyons-nous, par M. John Spiller. On trouvera à chaque essai le nom du chimiste et l'origine du minerai. Les initiales en tête des colonnes indiquent les noms des docimastes : A. D., Allan Dick; J. S., John Spiller; E. R., Edward Riley; C. T., Charles Tookey. Toutes les analyses auxquelles ces initiales se réfèrent, ont été faites dans le laboratoire métallurgique de l'Ecole royale des Mines. Quand il n'y a pas d'initiales, les noms des essayeurs sont mentionnés dans les notes descriptives qui ont trait aux numéros des échantillons. La plupart de ces analyses ont déjà été publiées aux frais du gouvernement dans l'ouvrage intitulé *Des Minerais de fer de la Grande-Bretagne*.

Dans toutes les analyses de M. Dick, on a pesé le minerai après l'avoir desséché à 100° C., de sorte que dans les colonnes marquées A. D. on indique seulement l'eau combinée. Dans presque toutes les analyses de M. Spiller, on a pesé le minerai sans l'avoir préalablement desséché, aussi dans les colonnes désignées par J. S., l'eau hygroscopique et l'eau combinée figurent à part. Lorsque les nombres de la ligne de l'eau font face à une accolade embrassant l'eau hygroscopique et l'eau combinée, cela indique que le minerai a été analysé sans avoir été préalablement desséché et que l'eau n'a pas été déterminée séparément à ces deux états. Dans quelques analyses, l'eau combinée est en très-petite quantité relativement à celle de l'argile du minerai : voir, par exemple, les numéros 62 et 63 du tableau des minerais argileux du terrain houiller.

Dans les analyses de M. Dick, l'alcali n'a pas été dosé séparément dans la partie du minerai dissoute par l'acide chlorhydrique ; par conséquent, lorsque l'alcali existe dans ses analyses, il faut le chercher dans le résidu insoluble incinéré.

La partie soluble ne doit pas être regardée comme strictement déterminée, car elle varie selon la force de l'acide, le temps de la digestion, etc. Cependant nous avons jugé, dans plusieurs cas, utile d'établir séparément la composition des portions soluble et insoluble, car les minerais de fer sont souvent essayés par la voie humide et il est important de savoir combien il reste de parties à l'état insoluble. Il convient aussi de s'assurer s'il y a de la silice soluble. Ces indications analytiques peuvent, en outre, offrir de l'intérêt au point de vue purement scientifique. Ainsi, dans le résidu insoluble incinéré des minerais argileux, on a toujours trouvé des alcalis et généralement en plus grande proportion que dans la partie soluble. Nous avons spécialement appelé l'attention sur ce point, qui a été constaté avec soin. Dans cette classe de minerais, le résidu a presque toujours la composition de l'argile réfractaire.

Un espace blanc dans les colonnes ne signifie pas nécessairement que la substance fasse défaut. Ainsi, on s'est assuré qu'il y avait souvent des traces de sesquioxyde de fer dans les minerais argileux, sans que pour cela on

jugé nécessaire d'en doser les proportions, à moins qu'elles n'aient été considérables.

Lorsque les analyses des portions soluble et insoluble sont mentionnées séparément, la silice inscrite à la partie supérieure du tableau indique la silice soluble, et celle de la partie inférieure, la silice insoluble.

Voir l'*Addition N° II des Traducteurs*. (Méthodes analytiques suivies au laboratoire de l'Ecole des mines de Londres, sur les minerais de fer.)

TABLEAU I. — OXYDE MAGNÉTIQUE.

	E. R.
Sesquioxyde de fer	62.20
Protoxyde de fer	16.20
Protoxyde de manganèse	0.14
Alumine	2.28
Chaux	2.34
Magnésie	0.37
Silice	0.24
Acide phosphorique	0.10
Bisulfure de fer	0.07
Eau { hygroscopique	0.28
Eau { combinée	0.34
Résidu insoluble incinéré	16.26
	100.82
RÉSIDU INSOLUBLE INCINÉRÉ.	
Silice	9.42
Alumine	1.53
Protoxyde de fer	1.12
Chaux	3.18
Magnésie	1.45
Potasse } Soude }	0.10
	16.80
TOTAL DU FER	57.01

TABLEAU II. — HÉMATITES ROUGES.

	A. D. 1.	A. D. 2.	2 *a*.	A. D. 3.	J. S. 4.	4 *a*.	4 *a*.	5.
Sesquioxyde de fer	95.16	90.36	98.71	86.50	94.23	90.94	} 91.40	65.55
Protoxyde de fer	—	—	—	—	—	—	}	1.13
Protoxyde de manganèse	0.24	0.10	traces	0.21	0.23	0.25 (2)	}	1.13
Alumine	—	0.37	—	—	0.51	traces		1.75
Chaux	0.07	0.71	traces	2.77	0.65	0.99	0.95	8.55
Magnésie	—	0.06	—	1.46	traces	traces		1.12
Potasse	—	—	—	—	—	—		0.19
Soude	—	—	—	—	—	—		0.07
Silice	—	—	—	—	—	—		0.31
Acide carbonique	—	—	—	2.96	—	0.78 (3)		5.73
Acide phosphorique	traces	traces	traces	traces	tr. légères	traces		1.02
Acide sulfurique	id.	id.	—	0.11	0.09	0.24		1.31
Bisulfure de fer	id.	0.06	—	—	0.03	—		
Eau { hygroscopique	—	—	—	—	0.39	—		} 2.12
Eau { combinée	—	—	—	—	0.47	—		}
Matière organique	—	—	—	—	—	—		0.38
Résidu insoluble incinéré	5.68	8.54	1.00	6.55	5.18	6.68	6.62	10.36
	101.15	100.20	99.71	100.56	100.88	99.88		101.72
RÉSIDU INSOLUBLE INCINÉRÉ.								
Silice	5.66	7.05	Le résidu insoluble était de la silice à l'état de quartz.	6.18	4.90	Le résidu insoluble consistait en silice avec une très-petite quantité d'alumine.		8 59
Alumine	0.06 (1)	1 06		0.30 (1)	0.12			1.04(1)
Sesquioxyde de fer	—	0.19		—	} traces			—
Chaux	—	traces		—	}			0.85
Magnésie	—	—		—	—			0.27
Potasse	—	—		—	—			0 23
Soude	—	—		—	—			0.06
	5.72	8.30		6.48	5.02			11.06
TOTAL DU FER	66 60	63 25	69.10	60.55	65.98	63.66		47.47

(1) Avec traces de fer. (2) Calculé comme MnO^2. (3) D'après le calcul.

OBSERVATIONS SUR LES TABLEAUX I ET II.

Tableau I. — *Oxyde magnétique de fer.*

1. Dartmoor, *Devonshire :* compacte, noir; éclat métallique; cassure inégale et grenue; il raye en noir. Un minéral vert pâle disséminé dans le minerai reste dans le résidu insoluble après l'attaque à l'acide chlorhydrique. On découvrit des traces de bismuth, d'étain et de cuivre dans une dissolution de 58 grammes du minerai.

Tableau II. — *Hématites rouges.*

1. Cleator Moor, Whitehaven, *Cumberland.* — Hématite rouge, compacte, avec des cavités tapissées de cristaux de fer spéculaire et de quartz. On découvrit de très-petites traces de plomb dans 25 grammes de minerai.

2. Cleator Moor, Whitehaven, *Cumberland.* — Hématite rouge, compacte, pulvérulente et onctueuse. On découvrit des traces de plomb dans 32 grammes de minerai.

2 *a.* De Whitehaven. — Analysée à l'arsenal de Woolwich. Quatre analyses de fonte produite avec ce minerai, ont été données par M. Abel (p. 19 de son rapport), et dans toutes la proportion de silicium est élevée : les extrêmes sont 3.02 pour 100 et 2.63; et pourtant le minerai ne contiendrait que 1 pour 100 de silice. Il y a, sans doute, quelque erreur. On paraît avoir choisi le minerai pour le cas particulier; car il est bien connu que la silice abonde dans le minerai de cette localité.

3. Gillbrow, Ulverstone, *Lancashire.* — Hématite rouge de la variété onctueuse : elle contient des morceaux de carbonate mélangés de chaux, etc., colorés en rouge, difficiles à discerner avant que le minerai soit lavé. On obtint sur 32 grammes une petite quantité d'un métal blanchâtre, précipitable par l'hydrogène sulfuré dans la solution d'acide chlorhydrique, mais en quantité trop petite pour être étudiée.

4. Lindale Moor, près d'Ulverstone, *Lancashire.* — L'échantillon préparé pour l'analyse avait été choisi dans une masse de minerai composé de fragments d'une dureté variable; mais la plupart appartenaient à la variété compacte et dure d'hématite rouge. On découvrit des traces très-nettes d'arsenic dans 100 grammes de minerai.

4 *a.* Hématite rouge, compacte, de North Pit, Lindale cote, près d'Ulverstone, *Lancashire.* — M. R. Smith en a fait l'analyse en 1851. De 32 grammes de minerai, 0.024 pour 100 d'oxyde métallique donnèrent au chalumeau un métal d'un blanc d'étain. Aucune trace de nickel ou de cobalt dans 32 grammes du minerai. Tous les minerais précédents se trouvent dans le calcaire carbonifère.

5. Whitchurch, près de Cardiff, *Glamorganshire.* — On le décrit comme mou, terne et d'un éclat graisseux, salissant les doigts, de structure oolithique, et quelquefois pisolithique. On ne trouva pas de métal précipitable par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 20 grammes de minerai. Analyse de M. W. Ratcliffe pour compte de M. E. Rogers, d'Abercarn. Ce minerai se rencontre au-dessous, ou à la base du calcaire carbonifère.



TABLEAU III. — HÉMATITES BRUNES.

	A. D. 1.	A. D. 2.	A. D. 3.	A. D. 4.	A. D. 5.	E. R. (D.) 6.	E. R. (D.) 7.	A. D. 8.	C. T. 9 *a*.	9 *b*.
Sesquioxyde de fer	52.83	90.05	32.76	89.76	48.98	59.05	51.87	89.34	35.91	27.93
Protoxyde de fer	—	—	—	—	0.24	—	—	—	6.57	5.08
Protoxyde de manganèse	0.81	0.08	traces	0.04	0.16	0.09 (2)	0 43 (2)	0.55	0 05	traces
Alumine	—	traces	0.05	0.63	0.12	traces	4.01	0.53	27.95	34.57
Chaux	14.61	0.06	0.25	0.49	14.07	0 25	0.52	0.35	0.60	0.91
Magnésie	5.70	0.20	0.25	0.40	10.21	0.28	0.17	0.29	0.20	0.62
Potasse	—	—	—	—	—	—	—	—	0.49	—
Silice	traces	—	0 07	—	—	34.40	36.03	—	9.75	9.87
Acide carbonique	18.14	—	—	—	20.75	—	—	—	—	—
Acide phosphorique	0.32	0.09	0.09	0.13	0.06	0.14	0.49	0.13	néant	traces
Acide sulfurique	0.28	traces	traces	traces	traces	—	—	traces	—	—
Bisulfure de fer	—			—	—	0.09	0.03 (3)	traces	—	—
Eau { hygroscopique	—	—	—	—	—	0.24	0.80	—	18.60	19.36
Eau { combinée	4.75	9.22	5.55	7.05	5.18	6 14	5.80	8.83		
Matière organique	1.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Résidu insoluble inciné	0.04	1.07	63.38	2 57	0.86	—	0.05 (4)	1.70	—	—
Acide titanique	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.51
	98.78	100.77	100.40	101.07	100.63	100.68	100.20	101.19	100.12	101.85
RÉSIDU INSOLUBLE INCINÉRÉ.									Résidu insoluble non analysé séparément, le minerai ayant été fondu avec des carbonates alcalins.	
Silice		0.92	63.45	2.14	0.79			1.42		
Alumine		0.14 (1)	traces	0 35	0 65			0.19		
Sesquioxyde de fer		—		0 04	0.01			0.05		
Chaux		—	—	0.02	—			—		
		1.06	63.45	2.55	0.65			1.66		
FER, TOTAL	36.98	63 04	22.93	62.86	34.46	41.34	36.31	62.60	30.25	23.50

(1) Avec traces de fer. (2) Calculé comme MnO^2. (3) Soufre. (4) Cuivre.

OBSERVATIONS SUR LE TABLEAU III.

TABLEAU III. — *Hématites brunes.*

1. De **Froghall**, près de **Cheadle**, *Staffordshire.* — Hématite brune, calcifère, dans les couches les plus basses du terrain houiller. Elle est compacte, homogène, d'un rouge brun. La masse du minerai essayée contenait une veine de spath calcaire. Dans une solution de 30 grammes l'hydrogène sulfuré produit un léger précipité, d'où l'on obtient par réduction des traces d'un métal blachâtre, en trop petite quantité pour être reconnu. Un échantillon de ce minerai était presque du sesquioxyde hydraté pur.

2. **Black Brush, Forêt de Dean**, *Gloucestershire.* — On a constaté de légères traces de cuivre et de plomb dans une solution de 32 grammes du minerai.

3. **Brandy Brush, Forêt de Dean.** — Hématite brune très-impure et très-siliceuse. Aucun métal précipitable par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 32 grammes de minerai.

4. **Smith, Forêt de Dean.** — Hématite brune, relativement pure. Point de métal précipitable par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 36 grammes de minerai.

5. **Veine grise, Forêt de Dean.** — Hématite brune contenant une forte proportion de carbonate de chaux et de magnésie. Aucun métal précipitable par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 32 grammes de minerai.

6. De **Llantrissant**, *Glamorganshire.* — Dépôt remarquable qui forme la base du conglomérat magnésien et repose sur le calcaire carbonifère.

7. Embarqué à **Pentuan**, *Cornouailles.* — Obtenu en amas, en partie dans le granite et en partie dans les roches ardoisières près de Saint-Austell.

8. Du *Devonshire.* — Le lieu d'extraction n'est pas indiqué. On découvrit des traces très-nettes d'arsenic, d'antimoine, de plomb et de cuivre dans une solution de 32 grammes de minerai. A Brixham, dans le Devonshire, il existe un vaste dépôt de minerai brun que l'on exploite depuis longtemps. Ce minerai a été fondu dans le pays de Galles sud et il a été aussi employé pour la fabrication de couleurs. Près de Brixham, il y a un moulin spécial où on le broie avec de l'huile de lin pour en faire un enduit que l'on recommande surtout pour les pièces de fer.

9 *a*. **Minerai alumineux, Belfast**, *Irlande.* — Nous avons reçu sous ce nom des échantillons de minerai à l'état de conglomérat formé de petits fragments en forme de pois, arrondis, siliceux et cémentés. Il est remarquable par la grande proportion d'alumine qu'il contient. L'acide titanique présent n'a pas été dosé.

9 *b*. **Minerai alumineux, Belfast**, *Irlande.* — Autre échantillon analysé par M. E. Riley.

TABLEAU IV. — HÉMATITES BRUNES, PRINCIPALEMENT OOLITHIQUES.

	J. S.		E. R.	E. R.		A. D.			A. D.	A. D.	A. D.	C. T.	C. T.	C. T.	E. R. (D.)*
	1 a.	1 b.	2.	3 a.	3 b.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Sesquioxyde de fer	52.20	51.93	34.41	50.31	50.48	74.12	76.00	56.20	—	38.04	3.19	44.67	58.10	55.21	53.48
Protoxyde de fer	traces		traces	traces		—	traces	traces	33.29	10.54	12.34	0.86	—	—	—
Protoxyde de manganèse	0.51		0.27	0.51	0.45	0.57	0.40	0.20	1.11	0.69	traces	0.44	0.88 (5)	0.95 (5)	1.60 (5)
Alumine	7.13		6.19	7.25		1.55	2.30	2.43	4.62	12.85	3.36	7.85	3.00	2.75	4.19
Chaux	7.13	7.39	25.68	11.76	11.87	0.76	0.41 } (2)	0.49 } (2)	0.50	traces	34.82	9.29	4.15	0.45	0.84
Magnésie	0.57	0.54	0.85	0.62	0.60	0.18	0.11 } (2)	0.17 } (2)	7.96	4.13	1.67	0.66	0.96	1.15	0.72
Potasse	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.18	—	—	—	—
Silice	1.60	1.77	0.89	0.22	0.35	0.43	—	—	1.99	1.96	2.13	0.48	—	—	24.81
Acide carbonique	4.92		18.45	7.98	7.80	0.57	—	—	24.79	0.16	31.92	6.11	1.08	—	traces
Acide phosphorique	1.26		1.47	1.28		3.17	1.03	0.84	0.22	0.26	0.26	0.55	1.40	0.42	0.87
Acide sulfurique	—		0.07	—		traces	—	—	traces	traces	0.10	—	—	0.16	—
Bisulfure de fer	0.03		0.30	0.17		0.06	—	—	0.13	0.13	0.06	traces (3)	—	—	traces (3)
Eau { hygroscopique	—		—	—		—	1.80	1.16	—	—	—	} 16.31	16.46	13.11	13.61
Eau { combinée	11.37	11.28	6.97	11.00	11.07	11.89	12.40	9.74	0.54	6.92	1.76				
Matière organique	—		—	—	—	traces	—	—	0.08	0.19	traces	—	—	—	—
Résidu insoluble inciné.	13.55	13.59	5.82	9.33	9.34	7.15	5.33	29.07	24.09	24.61	7.36	13.10	13.75	25.15	—
	100.27		101.37	100.48		100.45	99.78	100.30	99.32	99.98	99.15	100.32	99.78	99.35	100.07
RÉSIDU INSOLUBLE INCINÉRÉ.															
Silice	11.56		5.80	8.58	8.54	5.60	Résidu insoluble consistant presque entièrement en silice avec traces de mica.	Résidu de silice avec mica.	17.50	21.28	6.18	11.86	11.70	19.65	1.42
Alumine	0.26 }		0.21 }	0.27	0.35	1.36			3.27	2.67	0.61	1.25 (4)	1.95 (6)	4.95 (4)	0.19
Sesquioxyde de fer	0.66 }			0.22	0.26	0.20			3.31	—	0.18	—	—	—	0.05
Chaux	0.33		0.04	0.16	0.11	—			traces	traces	0.05	traces	—	0.25	—
Magnésie	0.11		0.02	traces		traces			0.81	0.22	0.04	—	—	traces	—
Potasse	—		—	0.11 (1)		non déterm.			0.20	0.38	—	—	—	—	—
	12.92		6.07	9.34		7.16			25.09	24.55	7.06	13.11	13.65	24.85	1.66
Fer, total	37.00		24.09	35.37		52.05	53.20	39.34	28.28	34.83	11.98	31.94	40.67	38.65	37.44

(1) Avec traces de soude. (2) Calculé comme carbonates. (3) Soufre. (4) Avec traces de fer. (5) Calculé comme MnO^2. (6) Avec traces de fer et de chaux.

* E. R. (D.) indique que l'analyse a été faite par M. Riley, à Dowlais.

OBSERVATIONS SUR LE TABLEAU IV.

TABLEAU IV. — *Hématites brunes, principalement oolithiques.*

1. De WELLINGBOROUGH, *Northamptonshire*. — Ce minerai se compose essentiellement de sesquioxyde hydraté terreux, de structure oolithique, de couleur d'ocre brune. Le résidu insoluble se composait presque entièrement de concrétions oolithiques siliceuses; mais en dissolvant celles-ci dans de la potasse, le faible résidu contenait du sable quartzeux, des paillettes de mica et de petits globules d'oxyde magnétique de fer. Le minerai renferme de nombreuses coquilles marines; il abonde dans les sables de Northampton qui s'étendent à la base de la grande oolithe et forment l'équivalent géologique de l'ardoise de Stonefield (1). On trouva des traces de cuivre dans une solution de 660 grammes de minerai.

L'emploi du minerai de Northamptonshire est de date récente. M. S. H. Blackwell, de Dudley, a constaté l'existence d'un dépôt étendu de ce minerai, qu'on a depuis traité en grandes masses dans le Staffordshire-sud, le Derbyshire et le pays de Galles-sud.

2. De WELLINGBOROUGH, *Northamptonshire*. — Ce minerai ressemble au précédent, mais il est d'une couleur d'ocre jaune. Le résidu insoluble consistait en grande partie en concrétions oolithiques siliceuses et contenait aussi du sable quartzeux, du mica et des globules noirs d'oxyde magnétique de fer.

3. De WELLINGBOROUGH, *Northamptonshire*. — Ce minerai est analogue sous tous les rapports au dernier. On y trouve de faibles traces de métal malléable, apparemment du plomb. Presque toute la silice existe sous forme de concrétions oolithiques. Le résidu insoluble contenait du sable quartzeux, du mica et de petites parcelles d'oxyde magnétique de fer.

4. De HARDINGSTONE, village près de NORTHAMPTON.

5. Des forges de EAST END, WELLINGBOROUGH, *Northamptonshire*. — Le minerai est d'un jaune d'ocre. L'échantillon analysé était une moyenne de trois échantillons. On ne trouva pas dans le minerai de traces appréciables de soufre.

6. Des forges d'HEYFORD, près de WEEDON, *Northamptonshire*.— Le minerai est analogue au précédent. L'échantillon analysé était une moyenne de deux échantillons. Aucunes traces appréciables de soufre.

7 et 8. — Analyses des parties intérieure et extérieure d'une masse de minerai du *Northamptonshire*. La partie intérieure consiste principalement en carbonate de protoxyde de fer, et la portion extérieure en sesquioxyde hydraté; le dernier résulte évidemment du premier par l'action atmosphérique. On n'a pas constaté de métal précipitable par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 880 grammes du minerai n° 7. De très-petites traces de cuivre et de plomb furent au contraire découvertes dans une solution de 744 grammes du minerai, de sorte que ces métaux semblent avoir été introduits dans le minerai par l'eau extérieure.

9. De BANBURY, *Oxfordshire*.— On peut le regarder comme un minerai proprement dit; sur 7.36 de résidu insoluble, 5.02 se dissolvent dans la potasse faible.

10. De WOODSTOCK, *Oxfordshire*, sur les propriétés du duc de Malborough. — L'analyse a été faite sur un échantillon moyen. Le minerai ressemble beaucoup, au premier aspect, aux variétés de minerai brun jaunâtre du Northamptonshire. Il se trouve dans la marne, entre le lias supérieur et inférieur.

11. De BRIGG, *Lincolnshire*. — Il ressemble beaucoup au précédent, et forme un dépôt superficiel; mais sa position géologique n'a pas été déterminée exactement.

12. Du *Dorsetshire*, sur les propriétés du comte de Shaftesbury. — Il ressemble beaucoup au précédent.

13. De SEEND, dans le *Wiltshire*. — L'échantillon analysé ressemble beaucoup au n° 12, mais il avait été exposé à l'oxydation atmosphérique. C'est un sesquioxyde hydraté terreux, très-siliceux; il se rencontre dans les grès verts inférieurs.

(1) D'après le professeur A.-C Ramsay.

TABLEAU V. — CARBONATES SPATHIQUES.

	J. S. 1. a.	J. S. 1. b.	A. D. 2.	C. T. 3.	C. T. 4.	J. S. 5.	J. S. 6.
Protoxyde de fer.....	10.77		49.47	49.77	—	43.84	17.91
Sesquioxyde de fer...	49.50		—	0.81	71.11	0.81	—
Protoxyde de manganèse..............	3.06	2.90	2.42	1.93	6.60 (2)	12.64	7.64
Alumine.............	0.45		traces	—	0.40	—	—
Chaux..............	5.68	5.66	3.47	3.96	0.50	0.28	24.80
Magnésie............	1.90	1.42	3.15	2.83	1.90	3.65	6.17
Potasse.............	—		—	—	—	—	—
Silice..............	0.29		1.20	—	—	—	—
Acide carbonique.....	14.49	14.70	37.71	37.20	0.13	38.86	41.75
Acide phosphorique..	0.01		traces	traces	0.22	—	traces
Acide sulfurique......	traces		traces	—	—	—	—
Bisulfure de fer......	0.03		0.08	0.04 (1)	—	—	0.11
Eau { hygroscopique..	1.81	8.40	—	0.50	12.40	0.18	0.38
Eau { combinée......	6.65						
Matière organique....	traces		traces	—	—	—	—
Résidu insoluble incinéré...........	0.90		3.77	3.12	6.32	0.08	0.47
	100.80		101.27	99.98	99.64	100.32	99.23
RÉSIDU INSOLUBLE INCINÉRÉ.							
Silice..............	6.35		3.73	Résidu insoluble non analysé. Il consistait presque entièrement en quartz avec une petite quantité de fluorure de calcium.	4.09	0.0695	0.40
Alumine.............	0.41		0.06		—	0.0097	—
Sesquioxyde de fer...	0.07		—		1.97	0.0020	0.07 (3)
Chaux..............	0.01		—		—	0.0004	traces
Magnésie	0.01		—		—	traces	—
Potasse.............	0.05		—		—	—	—
	6.99		3.79		6.06	0.0816	0.47
FER, TOTAL...	43.02		58.56	38.98	49.78	34.67	15.98

(1) Soufre. (2) Calculé comme MnO_2. (3) Calculé comme FeO.

OBSERVATIONS SUR LE TABLEAU V.

TABLEAU V. — *Carbonates spathiques.*

1. WEST LEVEL; forges de Tow Law, WEARDALE, *Durham.* — Ce minerai consiste essentiellement en sesquioxyde de fer hydraté et en carbonate de protoxyde; il résulte évidemment de la décomposition incomplète du carbonate spathique par l'action simultanée de l'air et de l'humidité. Du spath fluor et de la galène sont associés à ce minerai. Une petite quantité de spath adhérait au morceau analysé, mais on l'en sépara avec soin et on le mit de côté. On découvrit des traces de plomb dans 25gr.90 de minerai.

2. VEINE RISPEY, ROOKHOPE, vallée latérale de WEARDALE. — Ce minerai est du carbonate spathique. Quand on en fait dissoudre un morceau dans l'acide chlorhydrique jusqu'à ce que tout ce qui est soluble soit dissous, il reste comme une charpente siliceuse, de la forme et de la grandeur du fragment primitif. Aucun métal précipitable par l'hydrogène sulfuré n'a été décélé dans une solution de 65 grammes du minerai.

3. WEARDALE, *Durham.* — Carbonate spathique, brun clair. Des particules de quartz, transparentes, incolores, sont répandues dans la masse, où on les reconnaît distinctement. Il contient un peu de cuivre : 1000 grammes de minerai donnèrent 0,26 de protoxyde (CuO).

4. WEARDALE, *Durham.* — C'est essentiellement du sesquioxyde hydraté, résultant de la décomposition du carbonate spathique; sa couleur est brun-chocolat. Il contenait des traces de cuivre. Tous les minerais précédents se trouvent dans le calcaire carbonifère.

5. BRENDON HILLS, *Somersetshire.* — Composé essentiellement de carbonate cristallisé de protoxyde de fer avec lamelles minces d'hématite rouge onctueuse, irrégulièrement disséminées dans la masse. La surface intérieure était décolorée par la peroxydation, et l'échantillon analysé fut prélevé à l'intérieur. Une légère trace d'acide phosphorique, sans soufre, fut trouvée dans 8 grammes de minerai. Aucun métal précipitable par l'hydrogène sulfuré n'a été découvert dans une solution de 40 grammes de minerai. La composition du résidu insoluble a été calculée d'après les résultats d'une analyse de 0gr.10 de résidu fourni par 40 grammes de minerai. La Compagnie des forges d'Ebbw Vale a traité des quantités considérables de ce minerai pendant ces dernières années. Notre collègue, M. Warington Smyth, nous apprend que, dans une visite récente aux mines, il a été très-frappé des masses de minerai cristallisé ressemblant au minéral pur. On le rencontre dans le terrain devonien.

6. EXMOOR, *Devonshire.* — Composé essentiellement de carbonate de chaux cristallisé et de carbonates de protoxyde de fer et de manganèse. On y remarque des particules de quartz, un minéral vert micacé insoluble dans l'acide chlorhydrique (chlorite ?), et de petites parcelles de fer pyriteux. Aucun métal précipitable par l'hydrogène sulfuré n'a été découvert dans une solution de 30 grammes du minerai. La proportion de fer est si petite, que le minerai serait plus convenablement désigné sous le nom de calcaire ferrifère. Des minerais spathiques non altérés et à divers degrés de transformation en sesquioxyde hydraté, se trouvent à Exmoor, dans la propriété de M. Knight. On les a dernièrement exploités sur une assez grande échelle et embarqués pour le pays de Galles-sud. Nous avons vu des tas de minerai excellent de cette localité à Lynmouth, prêts à être chargés. Les frais de transport à la mer sont actuellement une difficulté insurmontable pour le développement des mines de M. Knight, mais on se proposerait de construire expressément un chemin de fer jusqu'à Minehead, pour transporter le minerai.

TABLEAU VI. — MINERAIS DE FER ARGILEUX DU TERRAIN HOUILLER.

	YORKSHIRE.						DERBYSHIRE.									STAFFORDSHIRE-SUD.				
	J. S. 1.	J. S. 2.	2 a.	J. S. 3.	J. S. 4.	J. S. 5.	J. S. 6.	J. S. 7.	J. S. 8.	J. S. 9.	J. S. 10.	J. S. 11.	J. S. 12.	J. S. 13.	J. S. 14.	J. S. 15.	A. D. 16.	A. D. 17.	A. D. 18.	18 a.
Protoxyde de fer	35.38	36.14	47.13	41.77	39.38	39.87	33.72	37.99	35.74	33.56	38.97	28.27	40.01	33.31	39.55	43.81	45.35	37.69	54.12	50.40
Sesquioxyde de fer	1.20	0.61	—	1.96	1.24	0.53	—	1.04	1.26	1.66	0.88	1.01	1.60	1.47	2.71	—	—	—	—	—
Protoxyde de manganèse	0.94	1.38	2.20	1.13	0.95	1.38	1.01	1.51	1.23	0.96	1.09	1.02	1.26	2.18	1.50	0.98	0.56	0.61	2.05	0.75
Alumine	0.80	0.52	—	0.58	0.82	0.74	0.67	0.41	0.47	0.73	0.38	0.33	0.58	0.95	1.14	1.05	0.61	8.24	0.78	—
Chaux	2.78	2.70	2.58	2.55	2.26	2.12	3.09	4.53	2.94	3.02	1.58	13.94	2.78	2.32	3.32	1.52	2.60	2.72	2.21	1.70
Magnésie	2.22	2.05	1.12	3.71	3.72	2.64	5.43	3.30	2.70	2.81	4.62	9.18	2.88	2.44	2.85	1.15	1.22	2.60	0.62	1.19
Potasse											—	—	—	—	—	—	—	0.43	trace	—
Silice											—	—	—	—	—	0.46	0.67	18.11	2.11	—
Acide carbonique	25.41	26.57	32.55	31.39	29.38	28.47	28.64	29.92	26.74	25.68	30.14	37.61	29.72	24.83	28.63	28.22	30.21	25.92	35.25	33.70
Acide phosphorique	0.48	0.34	0.96	0.75	0.47	0.69	0.41	0.80	0.66	0.79	0.48	0.74	0.34	0.62	1.12	0.83	0.46	0.66	0.69	0.45
Acide sulfurique	traces	traces	—	traces	—	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	—	traces	traces	traces	traces	traces	—
Bisulfure de fer	0.18	0.10	traces	id.	traces	0.05	0.13	0.06	0.05	0.26	0.05	0.04	0.09	0.13	0.05	0.30	0.20	0.22	0.40	traces
Eau { hygroscopique	0.74	0.61	0.25	0.55	0.68	0.59	0.57	0.74	0.68	0.74	0.64	0.18	0.45	0.70	0.51	0.54	1.64	1.29	1.07	0.30
Eau { combinée	1.11	1.16	1.75	1.15	1.41	1.21	0.87	1.47	1.49	1.51	1.02	0.73	1.12	1.87	1.24	1.32				1.41
Matière organique	0.23	2.40	0.30	0.86	0.54	0.83	0.36	1.42	0.76	1.57	0.30	0.92	1.38	1.85	1.14	0.88	1.59	1.56	1.36	0.50
Résidu insoluble incinéré	28.00	25.27	11.30	14.16	19.35	20.30	23.55	16.35	24.83	26.46	19.10	6.39	17.84	27.42	15.80	18.80	15.87	—	—	9.70
	99.47	99.85	100.14	100.56	100.20	99.42	99.35	99.54	99.55	99.70	99.25	100.36	100.05	100.09	99.56	99.86	100.98	100.05	100.66	100.10
RÉSIDU INSOLUBLE INCINÉRÉ.																				
Silice	19.13	17.37		8.93	12.16	13.50	16.02	10.64	16.07	17.13	11.90	3.55	11.19	17.24	10.22	12.40	9.96	Non analysé séparément.	Idem	
Alumine	6.83	6.22		4.21	5.60	5.39	5.74	5.16	6.62	7.76	5.55	1.98	5.33	7.90	4.51	5.11	5.09			
Sesquioxyde de fer	0.57	0.84		0.43	0.45	0.77	0.79	0.45	0.92	0.50	0.59	0.41	0.70	1.22	0.78	0.39	0.54			
Chaux	0.11	traces		traces	traces	trac s	traces	0.06	0.07	0.15	0.04	traces	traces	traces	0.06	0.15	traces			
Magnésie	0.07	0.12		0.14	0.17	0.13	0.06	0.07	0.26	0.25	0.20	0.09	0.17	0.27	0.03	traces	0.04			
Potasse	0.78	0.65		0.43	0.37	0.18	0.47	0.55	0.66	0.74	0.67	0.16	0.34	0.49	0.48	0.42	0.36			
	27.49	25.20		14.14	18.75	19.97	23.08	16.33	24.60	28.53	18.95	6.19	17.73	27.12	16.08	18.47	15.99	25.51	3.43	
FER, TOTAL	28.76	29.12	36.70	34.16	31.82	31.92	26.79	30.60	29.32	27.61	31.84	22.98	32.72	27.79	33.20	34.35	35.74	29.42	42.26	39.45

OBSERVATIONS SUR LE TABLEAU VI.

TABLEAU VI. — *Minerais argileux du terrain houiller.*

1. **WHITE BED MINE**, BAIERLEY, *Yorkshire.* — L'échantillon analysé a été prélevé en quantités égales sur chacune des cinq couches de la mine. Une des couches renfermait de la pyrite. Traces de cuivre dans une solution de 32 grammes de minerai.

2. **BLACK BED MINE**, LOW MOOR, *Yorkshire.* — Echantillon composé à poids égal sur six couches. Une d'elles, le *Rough measure* contenait de la pyrite de fer sous forme de membranes extrêmement minces recouvrant les coquilles. Dans une solution de 38 grammes de minerai, l'hydrogène sulfuré n'accusa aucun précipité métallique.

2 *a*. **BLACK BED MINE**. — Analysé à l'arsenal de Woolwich. (*Expériences sur la fonte*, p. 189). C'est le minerai que traitent les forges de Low Moor.

3. **THORNCLIFFE** ou **OLD BLACK MINE**, PARKGATE, *Yorkshire.* — Echantillon pris en quantités égales sur deux couches. Le minerai de la première offrait de nombreuses crevasses remplies de carbonates de chaux, de fer, etc. ; celui de la seconde renfermait des empreintes de *stigmaria*. L'hydrogène sulfuré ne précipita aucun métal dans une solution de 32 grammes de minerai.

4. **THORNCLIFFE**, **WHITE MINE**, PARKGATE, *Yorkshire.* — Trois couches ; échantillon prélevé à poids égal sur chacune. La deuxième contenait des veinules de sulfate de baryte et de carbonate de chaux, avec traces de pyrite de fer. L'analyse indiqua des traces de sulfate de baryte. Une trace de cuivre apparut dans une solution de 30 grammes du minerai.

5. **BLACK** ou **CLAY WOOD MINE**, PARKGATE, *Yorkshire.* — Parcelles de pyrite disséminées dans la masse. Traces de cuivre et de plomb dans une solution de 38 gr. de minerai.

6. **SWALLOW WOOD RAKE**, STANTON, *Derbyshire.* — Echantillon moyen de trois minerais non désignés ; aucun métal précipité par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 36 gr.

7. **BROWN RAKE**, BUTTERLEY, *Derbyshire.* — Trois couches ; échantillon composé sur deux d'entre elles. Traces de métal rougeâtre trop faibles pour être reconnues, dans une solution de 78 grammes de minerai.

8. **BROWN RAKE**, BUTTERLEY, *Derbyshire.* — Echantillon pris sur la troisième couche. Traces distinctes de plomb et de cuivre dans une solution de 38 grammes de minerai.

9. **BLACK RAKE**, BUTTERLEY, *Derbyshire.* — Deux couches ; échantillon moyen. La seconde couche renfermait de minces filets de pyrite sous forme de coquilles. Traces de cuivre et de plomb dans une solution de 45 grammes de minerai.

10. **DOG TOOTH RAKE**, STAVELEY, *Derbyshire.* — Cinq couches ; échantillon moyen pris sur trois de ces couches, dont une avec coquilles irrégulièrement disséminées. Traces légères de cuivre dans une solution de 40 grammes.

11. **DOG TOOTH RAKE**, STAVELEY, *Derbyshire.* — Echantillon moyen des deux autres couches très-coquillières. Traces légères d'un métal blanc non reconnaissable dans une solution de 30 grammes.

12. **HONEYCROFT RAKE**, STANTON, *Derbyshire.* — Huit couches ; échantillon moyen. Le minerai de la seconde couche était sillonné par des fissures remplies de carbonates de fer et de chaux, etc., et contenait des coquilles et de la blende. Traces légères de cuivre.

13. **CIVILLY RAKE**, STANTON, *Derbyshire.* — Echantillon moyen de cinq couches : crevasses dans le minerai de la seconde couche tapissées de sulfate de baryte rosé. L'analyse indique des traces de sulfate de baryte, un peu de carbonate de chaux et de la blende. Traces légères de cuivre dans une solution de 30 grammes de minerai.

14. **DALE MOOR RAKE**, STANTON, *Derbyshire.* — Cinq couches ; échantillon moyen. Empreintes de débris végétaux, stigmaria et écailles de poissons ; des poissons fossiles s'y trouvent dans un état de conservation remarquable : ces débris expliquent la proportion relativement élevée d'acide phosphorique. Traces distinctes de blende et de cuivre.

15. **BROOCH**. CONGREAVES, *Staffordshire.* — Cavités tubulaires remplies d'argile blanche et de blende. Outre la blende, l'hydrogène sulfuré précipite, dans une solution de 30 grammes de minerai, un métal blanc en trop faible quantité pour pouvoir être examiné.

16. **PINS**, DUDLEY, *Staffordshire.* — Traces de métal blanc dans une solution de 40 grammes de minerai.

17. **PENNY EARTH**, DUDLEY, *Staffordshire.* — Aucunes traces de métal dans une solution de 40 grammes.

18. **GRAINS**, DUDLEY, *Staffordshire.* — Aucunes traces de métal dans une solution de 60 grammes.

18 *a* et 18 *b*. Analyses faites sur le minerai GRAINS, à l'arsenal de Woolwich. (*Expériences sur la fonte*, p. 78.)

TABLEAU VI. — MINERAIS DE FER ARGILEUX DU TERRAIN HOUILLER (*suite*).

	STAFFORDSHIRE-SUD (*suite*).																			
	18 b.	18 c.	A. D. 19.	19 a.	19 b.	A. D. 20	A. D. 21.	J. S. 22. a.	J. S. 22. b.	22 a.	J. S. 23.	23 a.	23 b.	23 c	A. D. 24.	A. D. 25.	A. D. 26.	A. D. 27.	A. D. 28.	A. D. 29.
Protoxyde de fer	48.43	48 96	46.30	49.28	52.50	45.86	40.28	30.96		44.74	48.63	51.52	47.70	43.33	50.60	43.55	46.39	47.87	49.61	44.20
Sesquioxyde de fer	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Protoxyde de manganèse	0.84	1.06	1.44	1.24	1.00	0.96	0.54	0.73		0.50	1.29	0.56	0.84	0.60	3 30	1.65	1.01	1.42	0.98	2.43
Alumine	—	—	0.44	—	—	0.42	0.52	0.13		—	0.57	—	—	—	0.24	0.28	0.54	0.43	0.50	6.37
Chaux	1.00	3.73	0.76	1.29	1.06	1.17	0 84	1.84	1.76	1.76	4.45	1.28	2.85	4.53	1.19	1.53	1.03	1.00	1 86	0.96
Magnésie	1.32	0.84	0.94	0.92	0 58	1.65	1.33	2 90	3.03	2.05	0 80	1.66	2.45	2.66	1.98	4.65	1.83	1.27	1.86	1.04
Potasse	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Silice	—	—	0.12	—	—	0.42	0 87	0.15		—	0.33	—	—	—	0.27	0.34	—	—	—	0.98
Acide carbonique	32.58	33.60	30.44	32.83	33.47	31.02	26 58	22.13	21.94	30.63	32.16	33.17	34.36	32.64	35.47	34.00	30 00	30.96	33.05	29.03
Acide phosphorique	0.59	0.72	0.74	0.66	0.75	0.21	0 30	0.26		0.72	0.31	0.60	0.56	0.78	0.23	0.15	0.11	0.07	0.34	0.66
Acide sulfurique	—	—	traces	—	—	traces	traces	traces		—	0.06	—	—	—	traces	0.06	0.10	0 08	0.10	0.05
Bisulfure de fer	traces	traces	0.07	traces	traces	0.10	0.09	0.12		—	0.16	—	—	0.16	0.13	0.47	0.17	0.17	0.17	0.26
Eau { hygroscopique	0.34	0.30	1.38	0.26	0.26	1 08	1.69	0.56	0.60	0.34	0 32	0.25	0.32	0.28	0.47	0.64	1.50	1.18	1.30	indéter.
Eau { combinée	1.61	1.28		1.59	1.34			1.83	1.65	1.51	1.23	1.20	1.23	1.36						
Matière organique	0.52	0.35	1.14	0.68	0.25	0.90	1.99	0.10		traces	0.28	traces	0.25	0.30	indét	indét.	0.21	0.41	1.24	2 68
Résidu insoluble incinéré	12.41	9.40	15.26	11.09	8.70	15.90	24.06	37.90	37.76	18.17	9.40	10.07	9.87	13.21	5 52	11.95	18.39	15.95	10.02	17.04
	99.59	100.24	99 03	99.84	99.91	99.69	99 04	99.61		100.36	99.99	100.31	100.43	99·85	99.40	99 22	100.78	100 51	101.03	99.70
RÉSIDU INSOLUBLE INCINÉRÉ.																				
Silice			10.47			10.26	18.20	26.25			5.88				3.31	7.47	11.71	10 52	6.26	Pas d'analyse de matière insoluble.
Alumine			4.36			5.44	4.46	9 45			3.07				1.63	3 47	6.04	5 02	2 55	
Sesquioxyde de fer			0.13			0 40	0 52	1.15			0.04				0.38	0.84	0.57	0.33	0.53	
Chaux			traces			0.20	0 68	traces			traces				0 08	0 19	0.09	0.13	0.03	
Magnésie			—			0 20	0.14	0 21			—				0.06	0.09	—	—	—	
Potasse			indét			indét	indét	0.74			0.11				indét.	indét.	0.28	0.38	0.39	
			14.66			16.50	24.00	37 90			9.40				5.46	12.06	18.69	16.38	9.56	
FER, TOTAL	37.97	38.32	36.14	38.60	41.02	35.99	31.70	24.88		35.25	37 45	40.22	37.35	34.00	39.71	34 88	36.56	37.47	39.02	34.53

SUITE DES OBSERVATIONS SUR LE TABLEAU VI.

18 *c*. GRAINS de BELL FARM. — Analyse faite à l'arsenal de Woolwich. (*Exp. sur la fonte*, p. 96.)

19 GUBBIN, DUDLEY, *Staffordshire.* — Veinules de matière blanche et rougeâtre, contenant de la blende, de la galène et de la pyrite de cuivre. — Aucunes traces de métal par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 30 grammes.

19 *a*. GUBBIN. — Analyse de Woolwich.

19 *b*. GUBBIN de BELL FARM. — Analyse de Woolwich.

20. GUBBIN (CANNOCK). — Veinules de matière grise blanchâtre avec blende — Aucunes traces de métal dans une solution de 30 grammes de minerai.

21. GUBBIN (RUBBLE). — Aucun métal n'est précipité par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 30 grammes.

22. WHITESTONE BIND, DUDLEY, *Staffordshire.* — Filon de carbonate de chaux contenant des petits cristaux de galène. Traces de plomb dans une solution de 10 grammes. — La roche encaissante qui divise les deux couches de ce minerai à Bilston, et que l'on fond en grandes masses, avec des scories, se compose, d'après M. S. H. Blackwell, comme il suit :

Protoxyde de fer	31.00	31.23
Oxyde de manganèse	2.50	0.30
Alumine	5.80	5.15
Chaux	8.30	10.41
Magnésie	2.50	6.00
Silice	11.50	11.50
Acide phosphorique	0.31	»
Acide sulfurique	1.13	Traces.

Deux autres échantillons, recueillis par nous à la houillère Oak (Bromwich West), ont été essayés par M. Smith et ont donné respectivement 26 et 36 pour 100 de fer. — On emploie cette roche, à Bilston, pour fabriquer du ciment romain.

22 *a*. BINDS. — Analyse faite à l'arsenal de Woolwich (p. 78).

23. BOTTOM WHITESTONE, DUDLEY, *Staffordshire.* — Irrégulièrement traversé par des veines de carbonate de chaux avec un peu d'argile. Aucunes traces de métal.

23 *a* et 23 *b*. WHITESTONE, forges de *Netherton*, près de DUDLEY. — Analyse faite à l'arsenal de Woolwich (p. 78).

23 *c*. WHITESTONE, WEST BROMWICH, *Staffordshire.* — (Haut fourneau de Old Hill). Analyse faite à Woolwich (p. 96).

24. CAKES ou BLUESTONE, DUDLEY, *Staffordshire.* —Veines de carbonate de chaux. Aucunes traces de métal précipitable par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 16 grammes.

25. CAKES ou BLUESTONE, DUDLEY, *Staffordshire.* — Aucunes traces de métal précipitable par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 40 grammes.

26. FIRE CLAY BALLS, DUDLEY, *Staffordshire.* — Carbonate de protoxyde de fer à gros grains cristallins, variant du brun clair au brun foncé. — Aucunes traces de métal précipitable dans une solution de 72 grammes de minerai.

27. FIRE CLAY BALLS, DUDLEY. — Carbonate de protoxyde de fer à grains fins cristallins, brun gris. Veines de spath calcaire et de silicate d'alumine blanc, pulvérulents avec de très-petites concrétions cristallines, globuliformes de carbonate de chaux et de magnésie. — Aucunes traces de métal précipitable dans une solution de 50 grammes.

28. POOR ROBIN, BUNKER'S HILL, *Staffordshire.* — Traces de cuivre dans une solution de 65 grammes.

29. ROUGH HILL WHITESTONE (bon échantillon). DARLASTON, *Staffordshire.*

TABLEAU VI. — MINERAIS DE FER ARGILEUX DU TERRAIN HOUILLER (*suite*).

	STAFFORDSHIRE-SUD (*suite*).													STAFFORDSHIRE-NORD.						
	A. D. 30.	C. T. 31.	C. T. 32.	A. D. 33.	A. D. 34.	34 *a*	C. T. 35 (1)	C. T. 36.	C. T. 37.	C. T. 38.	C. T. 39.	A. D. 40.	A. D. 40 *a*.	A. D. 41.	A. D. 42.	J. S. 43.	A. D. 44.	A. D. 45.	J. S. 46.	A. D. 47.
Protoxyde de fer	33.19	46.56	33.92	39.51	52.04	48.00	49.04	49.30	42.34	40.39	40.01	41.90	—	46.14	46.53	34.22	50.73	45.53	41.80	46.35
Sesquioxyde de fer	—	2.80	2.77	—	—	—	3.39	3.61	1.47	2.38	2 46	—	4 51	—	—	0 68	0 45	5.00	—	3.00
Protoxyde de manganèse	2.02	0.65	0.77	0.94	0.92	0.57	0.79	0.86	1.12	0.75	0.75	0.72	—	1.40	2.54	2 87	1.86	1 74	2 16	1.61
Alumine	7.71	0.70	0.67	1.12	1.30	—	0.21	0.34	0.59	0.19	0.46	5.26	29.54	3.53	0.97	0.23	0.26	0.32	0 53	0.30
Chaux	1.24	1.13	2.45	2.11	0.53	1.10	0.70	0 69	3.89	7.30	2.58	3.47	0.30	3 43	2.41	11.91	2 52	2 91	5.07	1 93
Magnésie	1.04	1.18	4.11	2.76	0.85	1.21	0.57	0.45	1.48	2 16	2.70	4.89	—	2.13	1.39	1.44	1 26	2.13	3.03	2.24
Potasse	0.90	0.23	0 14	—	—	—	0.10	0.09	—	0 07	0.19	0.87	—	0.41	—	—	—	—	—	—
Silice	22 48	0.54	0.09	—	—	—	0.27	0.23	0.35	0.18	0.27	9.95	0.29	8.63	—	—	—	—	—	—
Acide carbonique	20 94	30.08	26.89	28 08	32.31	30.70	30.80	32.05	30 91	33.35	29.13	31.94	—	32 04	30.77	32.52	33.89	32 12	32.40	32.46
Acide phosphorique	0 50	0 38	0.35	0.31	0.21	1.07	0.18	0.23	0.25	0.22	0.21	0.22	—	0.61	0.69	0.87	0.73	0.80	1.40	0.67
Acide sulfurique	0 04	—	—	traces	traces	—	—	1.27 (2)	traces	—	—	0.06	—	traces	0.04	0.12	0.08	0.08	traces	traces
Bisulfure de fer	0.41	0.13	0.15	0.05	0.13	0.18	0.11	0.13	0.06	0.11	0.06	0.56	—	0.10	0.34	0.35	0 30	0.37	0 04	0.15
Eau { hygroscopique	indé-	1.07	0.42	0.98	0.46	0.37	0.26	0.37	0.28	0.33	0 39	—	—	—	—	0.23	indét	—	0.36	—
Eau { combinée	term.		0.98			1.15	0.77	0.29	0.73	0.60	0 72	0.82	14.26	0.94	1.47	0.75		2 29	0.71	1.43
Matière organique	9.87	0 50	0.47	0 52	0.51	0.30	0.60	0.54	0.56	0.80	1.06	0.42	—	0.98	10.46	8.93	6.41	5.20	0.79	2 95
Résidu insoluble incinéré	—	13.77	25.55	22.96	11.14	15.70	12.15	9.42	15.50	10.52	18.77	—	50 51	—	2.27	4.69	0.72	1.95	10.81	7.29
	100.34	99.72	99.73	99.34	100.40	100.35	99.94	99.87	99 53	99.35	99.76	101.08	99.41	100.34	99.88	99.69	99.21	100.50	99.10	100.38
RÉSIDU INSOLUBLE INCINÉRÉ.																				
Silice	Matière insoluble non analysée séparément.	7.72	18.14	16.31	6.63		7.67	5.99	10.82	6.56	13.45	Non analysé séparément.	41.49	Non analysé séparément.	1 93	3.13	0.38	1.36	7.32	5.78
Alumine		4.70	5 77	5.13	8.68		3.55	2.71	3.65	3.08	4 22		7.45		0.25	1.12	0.32	0.42	3 28	1.22
Sesquioxyde de fer		0.39	0.40	0.85	0.43		0.36	0.21	0.11	0.37	0.59		—		0.05	0 33	—	0 06	0.20	0.11
Chaux		0.11	0.20	traces	traces		0.09	0 17	traces	0 04	0 08		0.18		0.03	traces	0.03	—	0.04	—
Magnésie		0.15	0 32	0.30	0.33		0.09	0 67		0.06	0.14		0.16		—		—	—	traces	—
Potasse		0.82	0.60	0.65	0.32		0.32	0.21	0 84	0.26	0.18		Non cherché.		0.20		0 14	0.05	0.09	0.18
		13.89	25.43	23.24	11.30		12.08	9.36	15.42	10.37	18.66	14.67	49.28	13 38	2.46	4.58	0.67	1.83	10.93	7.29
FER, TOTAL	26.01	38.56	28.87	31.34	40.84	37.70	40.81	41.06	34 41	33.44	33 2-	32 87		35.95	36.39	27.33	39.84	30.13	32.64	38 29

(1) On a trouvé des traces de manganèse dans le résidu insoluble des numéros 35, 37, 38 et 39. (2) Sulfure de zinc.

SUITE DES OBSERVATIONS SUR LE TABLEAU VI.

30. Rough Hill.Whitestone (Mauvais échantillon), Darlaston, *Staffordshire*. — Ce minerai contenait du schiste.—Traces de cuivre dans une solution de 32 grammes.

31. Rough Hill Whitestone (houillère *Rough Hay*), Darlaston, *Staffordshire*. — Le minerai contenait du sesquioxyde de fer, de la pyrite de cuivre et des veines de silicate d'alumine. — Présence du cuivre nettement indiquée dans une solution de 50 grammes.

32. Whitestone, houillère *Rough Hay*, Darlaston. — Cristaux microscopiques de pyrite disséminés dans la masse. — Traces de cuivre dans une solution de 32 grammes.

33. Gubbin et Balls (houillère de *Bunker's Hill*). *Staffordshire*. — Du silicate d'alumine en poudre blanche et du carbonate de chaux gris cristallisé traversent ce minerai. — Légères traces de plomb dans une solution de 48 grammes.

34. Gubbin et Balls (même houillère). — Veines de silicate d'alumine blanc grisâtre, pulvérulent, avec traces de galène. — Aucunes traces de métal dans une solution de 48 gr.

34 *a*. Balls, Bilston, *Staffordshire* (Haut fourneau de *Old Hill*, à Dudley). — Analyse faite à l'arsenal de Woolwich, p. 96.

35. Gubbin et Balls (houillère de *Rough Hay*), Darlaston, *Staffordshire*.— Veines de silicate d'alumine blanc grisâtre, avec petits cristaux de blende, de pyrite de fer et de cuivre. — Présence du cuivre nettement accusée dans une solution de 52 grammes.

36. Gubbin et Balls (même houillère), Darlaston, *Staffordshire*. — Le minerai renfermait du silicate d'alumine pulvérulent, blanc, une grande quantité de blende et des petits cristaux de pyrite de fer. — Aucun métal ne fut précipité par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 25 grammes.

37. Blue Flats (même houillère), Darlaston, *Staffordshire*. — Minerai irrégulièrement parsemé de veines de spath calcaire, avec silicate d'alumine blanc gris et brun rougeâtre, et des cristaux de pyrite de fer. — Aucunes traces de métal dans une solution de 25 grammes. — Le minerai Blue Flats a été un des plus productifs du Staffordshire-sud.

38. Silver Threads (même houillère), Darlaston, *Staffordshire*.—Nombreuses veinules irrégulièrement disséminées de spath calcaire, enduit d'une matière ferrugineuse couleur chamois. — Aucunes traces de métal précipitable dans une solution de 40 grammes.

39. Diamonds (même houillère), etc. — Veines de spath calcaire et de silicate d'alumine, avec galène, blende, pyrites de cuivre et de fer. — Traces de plomb et de cuivre dans une solution de 52 grammes.

40. Diamonds, Darlaston, *Staffordshire*. — Le minerai renfermait une poudre blanche et du carbonate de chaux avec de petits cristaux de blende. —Aucunes traces de métal dans une solution de 48 grammes.

40 *a*. Analyse de la matière blanche des minerais nos 39 et 40. — Pesé pour l'analyse après avoir été desséché sur de l'acide sulfurique.— C'est un silicate d'alumine hydraté.

41. Brown Stone, Bloxwich, *Staffordshire*. — Veines de substances blanche et grise pulvérulentes, avec traces de galène et de pyrite de cuivre.—Aucunes traces de métal précipitable par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 35 grammes. Dans la collection de M. Blackwell, à l'Exposition de 1851, il y avait deux variétés de minerai étiquetées Bloxwich : l'une de couleur brune comme les minerais argileux ordinaires et dont l'analyse figure sous le no 41 ; l'autre appartenant au *Black band* du nord du bassin houiller du Staffordshire-sud, au delà de la faille de Bentley, n'a pas été analysée ; elle contient 25.34 de fer et jusqu'à 30.17 de matière organique pour 100.

42. Red Shag (de la houillère *Shelton*, *d'Hanley* et *d'Apedale*), à Newcastle sous Lyne, *Staffordshire*.— Échantillon moyen de ces diverses localités. — Le minerai renferme assez de matière bitumineuse pour constituer un véritable minerai *blackband*. — Aucunes traces de métal précipitable dans une solution de 50 grammes.

43. Gutter Mine (houillère *Shelton*), *Staffordshire*. — Couches de minerai argileux, de matière charbonneuse et de coquilles fossiles s'alternant. — On y remarque une petite quantité de blende. L'échantillon analysé a été pris en travers des couches. Traces distinctes de plomb et de cuivre dans une solution de 49 grammes de minerai.

44. Red Mine (*Apedale*), Newcastle sous Lyne, *Staffordshire*.— Couches minces nuancées en brun foncé, formant un véritable *black band*. Çà et là des petits cristaux de galène et de blende. — Aucunes traces de métal dans une solution de 44 grammes. Ce minerai grillé est expédié en grandes masses dans le Staffordshire-sud.

45. Bassey Mine (des houillères *Foley*, de *Shelton* et d'*Apedale*), Newcastle sous Lyne, *Staffordshire*. — Échantillon moyen de ces diverses localités. — Dans le minerai d'Apedale on distingue des petits cristaux de blende. L'hydrogène sulfuré ne précipite rien dans une solution de 72 grammes.

46. Cannel Mine (*Apedale*), Newcastle sous Lyne, *Staffordshire*. — Minerai entremêlé de veinules de carbonate de chaux. — Légères traces de cuivre.

47. Penny Stone (houillère *Shelton*), *Staffordshire*. — Cristaux de blende. — Aucun précipité métallique par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 50 grammes.



TABLEAU VI. — MINERAIS DE FER ARGILEUX DU TERRAIN HOUILLER (*suite*).

	STAFFORDSHIRE-NORD (*suite*).			WARWICKSHIRE.	SHROPSHIRE.									PAYS DE GALLES-SUD.					
	A. D. 48.	A. D. 49.	49 *a*.	49 *b*.	J. S. 50.	J. S. 51.	J. S. 52.	J. S. 53. *a*.	J. S. 53. *b*.	J. S. 54. *a*.	J. S. 54. *b*.	J. S. 55.	J. S. 56.	A. D. 57.	A. D. 58.	58 *a*.	A. D. 59.	59 *a*.	59 *b*.
Protoxyde de fer	48.33	51.07	45.71	48.70	48.28	46.30	44.33	45.08	45.12	38.55	38.49	44.19	51.45	45.22	36.10	51.28	41.22	47.02	47.60
Sesquioxyde de fer	—	—	—	—	—	—	1.06	0.55		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Protoxyde de manganèse	2.99	2.36	1.20	0.90	0.82	0.82	1.00	1.69	1.78	1.31	1.15	0.99	0.54	1.05	0.76	1.11	1.07	1.00	0.46
Alumine	0.41	0.54		0.50	0.67	0.48	0.92	0.43	0.35	traces		0.41	0.43	0.58	0.48	—	0.59	—	—
Chaux	1.52	1.74	3.37	3.25	2.26	2.30	2.86	2.95	2.80	2.54	2.63	1.63	2.13	1.63	1.07	0.78	2.89	2.57	0.77
Magnésie	1.19	1.10	1.93	3.05	1.83	2.01	1.97	4.11	4.08	4.65	4.82	3.40	0.42	3.04	4.52	0.53	3.38	3.23	2.80
Potasse	—	—	—	—	—	—	—	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—
Silice	—	—	—	4.85	—	—	—	0.57	0.52	0.12	0.22	0.37	—	—	—	—	—	—	—
Acide carbonique	32.76	33.63	33.50	36.89	32.98	31.68	30.92	34.04	34.00	29.80	29.81	32.02	33.31	31.58	27.33	33.32	30.07	34.80	32.90
Acide phosphorique	0.87	1.12	1.42	0.71	0.26	0.50	0.70	0.46		0.25	0.22	0.29	0.23	0.38	0.18	0.74	0.76	0.92	0.71
Acide sulfurique	traces	traces	—	—	0.10	0.11	0.06	traces		0.06		0.06	—	traces	traces	—	traces	—	—
Bisulfure de fer	0.19	0.17	0.13	—	0.19	0.08	0.01	0.48	0.49	0.37		0.43	0.02	0.71	0.11	0.06	0.15	0.25	0.08
Eau { hygroscopique			2.64	1.15	0.24	0.28	0.35	0.30		0.46	2.07	0.45	0.19	0.66	1.06	0.18		0.34	0.32
Eau { combinée	0.85	0.99			0.62	0.81	0.95	0.72		1.68		1.31	0.54			1.67	1.21	1.58	1.28
Matière organique	1.17	1.24	traces		0.62	0.62	0.38	0.23		0.10		0.42	0.67	0.64	0.79	0.35	0.82	0.40	0.30
Résidu insoluble incinéré	9.28	5.18	9.66		11.19	13.24	14.35	8.32	8.38	19.48	19.22	13.50	9.60	14.50	27.58	10.33	17.27	8.63	13.60
	99.56	99.14	99.56	100.00	100.06	99.23	99.86	99.93		99.87		99.47	99.53	99.99	99.98	100.35	99.43	100.24	100.32
RÉSIDU INSOLUBLE INCINÉRÉ.																			
Silice	6.25	8.02			7.36	8.23	9.90	5.66		12.45		7.75	6.83	9.46	19.96		11.60		
Alumine	2.41	1.93			3.50	3.78	3.60	1.90		5.58		4.64	2.42	4.20	6.09		4.29		
Sesquioxyde de fer	0.21	0.12			0.53	0.69	0.56	0.20		0.60		0.55	0.43	—	0.60		0.45		
Chaux	—	—			0.08	traces	0.12	0.16		traces		0.14	traces	—	0.35		—		
Magnésie	—	—			traces	0.07	traces	0.09		0.07		0.08		6.20	—		0.30		
Potasse	0.22	0.28			0.10	0.33	0.24	traces		0.85		0.33	0.16	0.56	0.71		0.48		
	9.09	5.35			11.57	13.10	14.42	8.13		19.55		13.49	9.84	14.42	27.65		17.12		
FER, TOTAL	37.88	39.68	35.[illegible]	37.88	37.92	36.49	35.61	35.63		30.40		34.75	40.27	35.48	28.55	40.12	32.44	36.77	37.32

SUITE DES OBSERVATIONS SUR LE TABLEAU VI.

48. **Deep Mine** (des houillères *Foley* et *Shelton*, et d'Apedale), *Staffordshire*. — Echantillon moyen de ces trois localités. Le minerai de Shelton renferme des petits cristaux de blende et de pyrite de cuivre. Des crevasses dans les deux autres minerais contiennent du silicate d'alumine hydraté, blanc grisâtre et du carbonate de chaux. — Traces très-faibles de cuivre et de plomb dans une solution de 72 grammes.

49. **Chalky Mine** (des houillères *Foley* et *Shelton*, et d'Apedale), *Staffordshire*.—Echantillon moyen de ces trois localités. A *Foley*, le minerai contient des petits cristaux de blende et de pyrite de fer; à *Shelton*, des veinules d'une substance blanche et jaune gris cristallisée, principalement du carbonate de chaux, et à *Apedale*, des fentes remplies de silicate d'alumine hydraté, blanc et pulvérulent, ou teinté par du sesquioxyde de fer avec blende. — Traces très-faibles de cuivre et de plomb dans une solution de 65 grammes.

49 *a*. **Chalky Mine** (forges de *Goldendale*), près de Stoke sur Trent, *Staffordshire*. — Analyse faite à l'arsenal de Woolwich (p. 66).

49 *b*. Minerai de Bedworth, *Warwickshire*. — Ce minerai a été fondu en grande quantité dans le Staffordshire-sud et passe pour être de qualité excellente. — Analyse du docteur Percy.

50. **Black Flats**, *Shropshire*. — Une très-petite quantité de fer y est à l'état de sesquioxyde. —L'hydrogène sulfuré ne laisse aucunes traces dans une solution de 53 grammes.

51. **Blue Flats**, Donnington Wood, *Shropshire*. — Echantillon prélevé sur deux variétés, dont une tenait de la blende et l'autre des filaments pyriteux. — L'analyse indique la présence de sulfure de zinc et des traces de cuivre.

52. **White Flats**. Donnington Wood, *Shropshire*. — Des traces légères d'un métal rougeâtre, en trop petite quantité pour être examiné, mais probablement du cuivre, ont été trouvées dans une solution de 51 grammes.

53. **Pennystone**, Donnington Wood, *Shropshire*. — Nodules avec veines de sulfate de baryte en partie cristallisé, en partie pulvérulent. Des petits cristaux de pyrite de fer étaient disséminés à la surface des cristaux de sulfate de baryte et dans les pores du minerai. — Voici l'analyse des cristaux de sulfate barytique :

	1	2.
Sulfate de baryte	98.52	98.40
Silice	0.86	
Alumine	0.20	
Sesquioxyde de fer	Traces.	
	99.58	

La poudre blanche consistait surtout en sulfate de baryte; mais, comme il était difficile de la débarrasser des fragments de gangue ferrifère, l'analyse faisait une trop large part aux éléments du minerai.

54. **Pennystone**, Donnington Wood, *Shropshire*. — Faibles traces dans une solution de 20 grammes d'un métal blanc, malléable, en trop petite quantité pour être examiné.

55. **Pennystone**, Madeley Court, *Shropshire*. — Veinules de silicate d'alumine pulvérulent, avec quelques cristaux de pyrite de fer. Une petite quantité de fer était à l'état de sesquioxyde. — Aucunes traces de métal dans une solution de 28 grammes.

56 **Crawstone**, Madeley Wood, *Shropshire*. — Veinules de spath calcaire blanc, avec une petite quantité de carbonate de fer. — Traces de plomb à l'état de galène.

57. **Spotted Vein Mine**, Blaenavon, *Monmouthshire*. — Traces légères de cuivre et de plomb dans une solution de 58 grammes.

58. **Three Quarter Balls**, Blaenavon, *Monmouth*. — Traces légères de cuivre et de plomb dans une solution de 56 grammes.

58 *a*. Analyse faite à l'arsenal de Woolwich sous le nom de **Ball mine** (p. 148).

59. **Black Pins**, Blaenavon, *Monmouth*. — Traces faibles de cuivre dans une solution de 58 grammes.

59 *a*. **Black Pins** (forges de Blaenavon). — Analyse faite à l'arsenal de Woolwich (p. 159).

59 *b*. **Pwll Llacca** (forges de Blaenavon).

TABLEAU VI. — MINERAIS DE FER ARGILEUX DU TERRAIN HOUILLER (*suite*).

PAYS DE GALLES-SUD (*suite*).

	59 *c*.	59 *d*.	E. R. 60.	A. D 61.	A. D. 62.	E. R. 63.	A. D. 64.	E. R. (D.) 65.	E. R. (D.) 66.	E. R. (D.) 67.
Protoxyde de fer	42.04	39.80	44.50	32.44	26.03	26.98	31.74	41.03	38.77	44.29
Sesquioxyde de fer	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Protoxyde de manganèse	0.87	1.17	0.73	0.80	1.09	0 49	1.06	0.55	1.30	1 13
Alumine	—	—	1.35	0.24	0.37	1.19	7.75	0.23	0.32	0 45
Chaux	1.03	2.41	1.91	3.66	8.14	3.11	3.84	2.83	4.45	3.06
Magnésie	2.51	3.30	2.47	3.69	5.48	4.13	3.51	3.11	4.25	3.73
Potasse	—	—	—	—	—	—	1.12	—	—	—
Silice	—	—	0.22	—	0.24	0.50	16.97	0.27	0.08	0 14
Acide carbonique	29.52	30.04	30.92	26.15	28.29	23.40	25.03	28.49	30.53	32.48
Acide phosphorique	0.90	1.02	0.23	0.28	0.17	0 35	0.35	0.70	0.46	0.42
Acide sulfurique	—	—	—	traces	traces	—	traces	—	—	—
Bisulfure de fer	0.06	0.05	0.11	0.30	0.69	0.52	0.48	—	—	—
Eau { hygroscopique	0 36	0.54	—	0.98	0.99	—	indét.	0.57	0.35	0.42
Eau { combinée	2.00	2.12	0.76			0.78		1.36	1.08	1 03
Matière organique	0.30	0 45	0.21	1.15	0.41	0.82	8 50	0.07	0 29	0.35
Résidu insoluble incinéré	20.87	19.40	15 73	30.01	27.35	36.51		20.33	17.95	13.01
	100.46	100.30	99.14	99.70	99.25	98.78	100 35	99.54	99.88	100.51
RÉSIDU INSOLUBLE INCINÉRÉ										
Silice			10 59	20.04	18 32	27.41	Non analysé.	13.08	13.47	7.77
Alumine			4.60	7.98	8.30	7.69		5.56	2.96	3 75
Sesquioxyde de fer			0.50	0.76	0.56	0.73		0.41	0.40	0.41
Chaux			0.18	0.27	traces	0.22		0.17	0.09	0 12
Magnésie			0.14	—		0.42		0.25	0.15	0 19
Potasse			0.79	0.81	0 82	1.18		0.86	0.87	0 74
			soude 0.13			soude 0.16			soufre 0.01	soufre 0.03
			16.93	29.86	28.00	37.81	26.16	20.33	17.95	13.01
FER, TOTAL	33.20	31 45	34.06	26.01	20.95	21.49	24.90	32.18	30.43	34 72

	E. R. (D.) 68.	E. R. (D.) 69.	A. D. 70.	A D. 71.	72.	E. R. (D.) 73.	74.	C. T. 75.	76.	77.
Protoxyde de fer	39.00	48 66	40.30	29.34	42.72	calciné. 6.03	43.37	34.18	33 09	34.27
Sesquioxyde de fer	—	—	—	—	—	54.03	4.10	—	0.64	3.37
Protoxyde de manganèse	0 50	1 21	1 03	0.73	0.46	1.22(2)	1.50(2)	1.82	1 21	1.47
Alumine	0.89	—	1.43	0.96	—	7.04	6.05	0.80	0 91	—
Chaux	2.75	1 69	1.44	6.84	4.66	7.85	3.00	2.72	3 01	1.90
Magnésie	2.41	2.61	2.77	5.63	5.73	5.13	0.25	1.64	0 94	3.00
Potasse	—	—	—	—	—	—	0.32	—	0 11	0.03
Silice	—	—	—	—	—	16.27	2.80	—	0 67	0.05
Acide carbonique	26.14	33.09	28.23	24.56	35.70	—	30.50	24.20	22 28	26.14
Acide phosphorique	1.28	0 58	0 88	0.14	0.49	1.21	traces	0.42	0.44	0.28
Acide sulfurique	—	—	traces	traces	—	—	1.56	—	0.60	0.15
Bisulfure de fer	—	0.07	0.09	0.08	traces	1.21(3)	—	indét.	0.45	0.29
Eau { hygroscopique	0.79	0.25	0.74	1.00	0.26	0.08	0.27	2.00	0.37	0.90
Eau { combinée					1.54	—	0.31		1.19	1.23
Matière organique	1.60	11.08(1)	0.29	0.33	0.30	—	6.25	6.96	0.60	0 59
Résidu insoluble incinéré	24.44	1.21	22.48	35.73	8.23	—	—	25.20	33.41	27 29
	99.80	100 45	99.68	99.34	100.09	100.07	100.28	99.94	99.92	100.91
RÉSIDU INSOLUBLE INCINÉRÉ										
Silice	Non analysé.	Id.	14.43	24.98				Non analysé.	26.11	18 79
Alumine			6.47	9.75					7.30(4)	6.47(4)
Sesquioxyde de fer			0 34	0.53					—	—
Chaux			—	—					0.11	2.08(5)
Magnésie			0 17	0.20					0.07	0.04
Potasse			0.82	1.00					0.31	0 19
	24.44	1.21	22.23	36 46				17.80	33.90	27 27
FER, TOTAL	30.33	37.80	31.63	23.22	33.45	43.30	36.49	26 78	26.39	29.15

(1) Matière organique avec un peu d'eau. (2) Calculé comme Mn^3O^4. (3) Calculé comme FeS. (4) Avec traces de fer. (5) Cette proportion de chaux dans le résidu insoluble paraît considérable.

SUITE DES OBSERVATIONS SUR LE TABLEAU VI.

59 *c*. Bottom Vein (des forges de Blaenavon). — Analyse faite à l'arsenal de Woolwich (p. 148).

59 *d*. Grey Vein (des forges de Blaenavon) (p. 148).

60. Spotted Vein Mine (Balls), Pontypool, *Monmouthshire*. — Veines assez épaisses de spath brun (carbonate de protoxyde de fer et de chaux); traces distinctes de cuivre dans une solution de 12 grammes de minerai.

61. Meadow Vein Mine, Pontypool, *Monmouth*. — Traces très-légères de cuivre et de plomb dans une solution de 48 grammes.

62. Three Cakes, Meadow Vein Mine, Pontypool, *Monmouthshire*. — Traces de cuivre dans une solution de 38 grammes du minerai.

63. Black Pin Mine (Middle Pin), Pontypool, *Monmouthshire*.— Traces distinctes de cuivre dans une solution de 15 grammes du minerai.

64. Black Band, Pontypool, *Monmouthshire*. — On a trouvé dans une solution de 38 grammes de minerai des traces d'argent et de cuivre. M. Dick y a découvert l'argent par la voie humide, sans soupçonner sa présence ; mais ce fait était précédemment connu, et le minerai passe pour contenir environ 15 grammes d'argent par tonne.

65. Rosser Vein Mine, Dowlais, Merthyr-Tydvil, *Glamorganshire*. — Cette analyse, et les suivantes, nos 65, 66, 67, 68, 69, ont été faites par M. Edward Riley, aux usines de Dowlais.

66. Little Blue Vein, Dowlais, Merthyr-Tydvil, *Glamorganshire*. — L'échantillon analysé avait été préparé sur un mélange à poids égal des quatre couches composant le filon. Traces de cuivre dans une solution de 32 grammes du minerai.

67. Lumpy Vein, Dowlais, Merthyr-Tydvil, *Glamorganshire*. — L'échantillon analysé a été préparé sur un mélange à poids égal des trois couches composant ce filon.

68. Gwr-Hyd Mine, Dowlais, Merthyr-Tydvil, *Glamorganshire*.

69. Black Band, Dowlais, Merthyr-Tydvil, *Glamorganshire*.

70. Sulphury Mine (Mine sulfurée), Cwm Avon, *Glamorganshire*. — Ce minerai très-renommé est composé de trois couches ayant en moyenne 0m,18 d'épaisseur. L'échantillon analysé a été préparé à poids égal sur les trois couches. — Traces de cuivre dans une solution de 60 grammes du minerai.

71. White Pins, appelé quelquefois Coedfalda Mine, Ystalyfera, *Glamorganshire*. — L'échantillon analysé a été préparé à poids égal sur chacune des deux couches. Traces de plomb dans une solution de 58 grammes du minerai.

72. Cheese Mine des usines à fer de *Ystalyfera*. — En nodules, de couleur gris foncé, entrecoupé de veines nombreuses de spath brun calcaire, où l'on remarque quelques cristaux de quartz. Analysé à l'arsenal. (Ouv. cit., p. 136.)

73. Worthington's Black Band, Lancaich, près de Quaker's Yard, *Glamorganshire*. — M. E. Riley en a fait l'analyse aux usines de Dowlais.

74. Black Band, Abercarn, *Monmouthshire*. — Couleur gris brunâtre ; contenant des lamelles de charbon et des filaments de pyrite de fer dans quelques-unes des fissures. Analysé de M. W. Ratcliffe pour M. E. Rogers, d'Abercarn.

75. Black Band, Vallée Gwendraeth, près de Llanelly, *Glamorganshire*.

76. Catshole, Saundersfoot, *Pembrokeshire*. — On y remarque des cristaux de spath calcaire et de la pyrite de fer. Aucunes traces de métal précipitable par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 10 grammes de minerai. Analyse de M. W. Ratcliffe.

77. Kilvelgy, Saundersfoot, *Pembrokeshire*. — On y remarque des pyrites de fer dans quelques-unes des fissures. Aucunes traces de métal précipitable par l'hydrogène sulfuré dans une solution de 10 grammes de minerai. Analyse de M. W. Ratcliffe.



TABLEAU VII. — MINERAIS DE FER ARGILEUX DU LIAS.

	YORKSHIRE.																				
	A. D. 1.	2.	3.	4.	5 a	5 b.	6 a.	6 b.	6 c.	7 a.	7 b.	7 c.	8 a.	8 b.	9 a.	9 b.	C. T. 10.	C. T. 11 a.	C. T. 11 b.	C. T. 11 c.	C. T. 12.
Protoxyde de fer...	39.92	43.02	39.00	33.85	35.25	—	39.04	43.35	39.50	35.55	35.75	40.86	34.00	38.25	33.86	38 06	33.17	32.78	22 30	40.77	34.98
Sesquioxyde de fer.	3.60	2.86	3.50	32 67	12 22	60 05	3.55	1.20	1.55	1.70	1 80	4.25	7.00	5 80	0.47	2 60	—	—	—	—	—
Protoxyde de mang..	0.95	0.40	1.30	0.69	—	—	—	—	—	—	-	—	—	—	0.96	0.74	0.50	0.45	0 50	0.67	0.48
Alumine..........	7.86	5 87	7.46	3.15	14.10	15.45	10 62	9.88	17.87	3.79	4 95	3.44	12.15	12.20	6.92	5 92	3.92	1.18	2 10	1.32	3.20
Chaux...........	7.44	5.14	7.44	2 86	2 38	1.15	1.70	0.58	1.56	4.20	7.39	3.80	1.40	5.00	5.82	7.77	11.90	6.44	11.80	4.08	11.96
Magnésie..........	3 82	5 21	3.82	1.59	3 95	0.72	3.19	5.35	2 31	1.12	2.98	3 70	3.15	2.40	3.84	4.16	4.52	4.58	3.96	5.34	4.51
Potasse...........	0 27	—	—	trac s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Silice............	7.12	7.12	9.46	6 95	9.65	8.20	10 90	7.65	19.90	20.90	15 65	7 20	20 50	7.45	15 24	10 36	—	—	—	—	—
Acide carbonique...	22.85	25.50	23 06	10.36	16.25	traces	25.26 (3)	22.96 (3)	5.54 (3)	25.18 (3)	23.47 (3)	32.50	15.50	25.40 (3)	25.00	22.00	28 00	26.13	24.40	31.80	29.20
Acide phosphorique.	1.86	1.81	1.60	1.41	—	—	2.08	3.87	2.50	2 66	5 05	0.96	2.55	0.50	1.40	1.07	0.48	0.19	0 30	0.06	1.30
Acide sulfurique....	traces	—	—	traces	traces	traces	—	—	—	traces	0.07	0.30	traces	traces	traces	traces	—	—	—	—	—
Bisulfure de fer.. .	0.11	—	—	0.03 (2)	traces (2)	traces (2)	traces (2)	0.09 (2)	0.13 (2)	traces (2)	traces (2)	1.60 (2)	0.06 (2)	traces (2)	0.40 (2)	0 14 (2)	—	—	—	—	—
Eau { hygroscopique	—	0.34	3.06	3.76	4.80	15.40	3.69	5.07	9.14	4.90	4.89	1.45	5.00	3 00	3.69	4.45	3.65	2.80	3.20	2.70	3.30
Eau { combinée....	2 97	3.14																			
Matière organique..	traces	0.15	—	0.84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Résidu insol incin..	1.64	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.22	24.10	30.96	12.36	10.04
	100.41	100.61	100.20	98.16	98.60	100.97	100.00	100.00	100.00	100.00	102.00 (5)	100.06	101.31	100.00	97.60	97.27	99 36	98.65	99.52	99.10	98.97
RÉSIDU INSOLUBLE INCINÉRÉ.																					
Silice...........	1.50	(4)			Il est regrettable qu'on n'ait pas déterminé l'acide phosphorique dans ces analyses.												9.42	18.12	23.10	8.80	8.00
Alumine..........	(1) 0.10																autres éléments non déterminés				
Sesquioxyde de fer	—																				
Chaux...........	traces																	Id.	Id.	Id.	Id.
Magnésie..	—																				
Acide titanique.....	0.03	traces																			
	1.68																				
FER, TOTAL....	33.62	35 48	32.78	49.17	35.94	42 03	32.83	34.54	28.73	28.84	27.45	34 75	31.36	33.81	26.66	31.42	25.80	25.50	17.24	31.71	27.21

(1) Avec traces de sesquioxyde de fer (2) Soufre. (3) Par différence. (4) Le résidu insoluble était de la silice à l'état de quartz. On trouva des traces de sulfure de zinc.

(5) La somme est indiquée comme égale à 100 dans l'original. Nous avons donné cette analyse, parce qu'elle présente le maximum de l'acide phosphorique. L'auteur répète 5.05 pour cet acide, de sorte que ce ne peut être une erreur d'impression.

OBSERVATIONS SUR LE TABLEAU VII.

TABLEAU VII. *Minerais de fer argileux du lias.*

1. Du CLEVELAND, *Yorkshire*. — C'est essentiellement un carbonate terreux de protoxyde de fer, d'un gris verdâtre. De petites concrétions oolithiques sont irrégulièrement disséminées dans la masse. La forte proportion de silice soluble après l'attaque par l'acide hydrochlorique est remarquable; une grande quantité paraît être combinée avec les protoxyde et sesquioxyde de fer mélangés, et forme ce que l'on désigne ordinairement sous le nom de silicate vert de fer. Lorsqu'on fait digérer un morceau du minerai dans l'acide chlorhydrique, jusqu'à ce que tout ce qui est soluble soit dissous, on obtient un résidu de la forme du morceau de minerai primitif. Il est très-léger et tombe en poussière, à moins qu'on ne le manie avec soin. Par la potasse caustique dilué, on enlève complétement au squelette siliceux les concrétions oolithiques qu'il contient, et la matière insoluble reprise par l'eau abandonne une petite quantité des particules cristallines microscopiques, dont quelques-unes sont blanches et consistent en quartz, tandis que les autres sont noires et composées en partie d'acide titanique. Ces dernières, qui ont la forme d'une pyramide aiguë, ont été examinées par notre ami, le professeur Miller, de Cambridge, qui parvint à mesurer quelques-uns des angles correspondant à ceux de l'*anatase*. Aucune trace de métal précipitable par l'hydrogène sulfuré dans une solution d'environ 78 grammes du minerai. Sur 1.64 de résidu insoluble, 0.98 se sont dissous dans la potasse caustique diluée.

2. Des hauts fourneaux de SOUTH BANK, MIDDLESBRO'-ON-TEES, *Yorkshire*. — Ce minerai, analogue au précédent, de couleur vert foncé, contient en abondance de petites concrétions oolithiques, quelques bélemnites et d'autres restes fossiles. On y remarquait des petits cristaux de quartz, de blende et d'un minéral ressemblant à la titanite. Aucune trace appréciable de soufre, ni de métal précipitable par l'hydrogène sulfuré.

3. Des mines de BELMONT. Usines à fer de Stockton, CLEVELAND, *Yorkshire*. — Le minerai analysé était plus épais et compacte que les nos 1 et 2, mais identique sous les autres rapports.

4. Minerai de ROSEDALE, de ROSEDALE ABBEY, *Yorkshire*. — Minerai bleu noir, magnétique. L'analyse est due à M. John Pattinson, chimiste des usines de Clarence; elle est empruntée au mémoire de M. Crowder sur les minerais de Rosedale, de Whitby et de Cleveland, dans le nouveau *Journal philosophique d'Edimbourg*, t. V. p. 40, 1857.

5. Minerai de ROSEDALE, de ROSEDALE ABBEY, *Yorkshire*. — Identique au précédent, excepté pour la couleur, d'un gris bleu clair, mais offrant extérieurement des indices d'oxydation atmosphérique qui le rend brun; (*a*) est l'analyse du minerai à l'intérieur et (*b*) à l'extérieur. Les analyses sont de M. E.-C Northcott (ouvr. cit., p. 42). Sur deux spécimens de minerai Rosedale essayés dans notre laboratoire par M. Smith, la variété bleue noire contenait 39.38 pour 100 et la variété gris foncé 38.45 pour 100 de fer.

6. *a*, *b*, *c*. MAIN SEAM, ESTON NAB. — La couche a de 3m.65 à 5m.20 d'épaisseur, sans qu'aucune autre matière étrangère y soit intercalée. Les analyses sont de M. Crowder (ouv. déjà cit., p. 49) : *a* se rapporte au toit de la couche; *b* au lit, et *c* à la partie intermédiaire, plus près du lit que du toit; *a* est représenté comme coloré en brun et formé de grains oolithiques; *b* d'un vert bleu foncé, et *c* comme dur, compacte, d'un vert d'olive et sans fossiles.

7. *a*, *b*, *c*. Minerai de HUTTON LOW CROSS. — (Ouvr. cité précéd., p. 50.) Les analyses se rapportent aux trois parties de la couche correspondant à celles du no 6 : *a* est décrit comme gris, compacte, dur, lourd, et avec quelques grains oolithiques, et *b*, *c*, comme plus mou, de cassure inégale, avec beaucoup de grains oolithiques.

8. *a*, *b*. Minerai d'UPLEATHAM. — Les analyses sont de M. Crowder (ouvr. cit. précéd., p. 50) : *a* provient du lit de la couche, et *b* d'une partie intermédiaire; *a* est décrit comme vert foncé, compacte et sans grains oolithiques, et *b* comme composé de grains blancs, maintenus par un ciment vert et entrecoupé de minerai vert sans grains. La proportion d'acide phosphorique dans *b* paraît très-petite; il convient de confirmer ce chiffre.

9. *a*, *b*. Minerai de NORMANBY. — La couche des mines de Normanby a près de 3m.35 d'épaisseur. Les analyses sont de M. John Pattinson, des usines de Clarence : *a* est un échantillon moyen de la couche supérieure de 0m.90, et *b* de la couche plus basse de 2m.45 (ouvr. cité précéd., p. 51); *a* est décrit comme coloré en vert de sauge, compacte, à cassure inégale, et contenant quelques coquilles, mais très-peu de grains oolithiques; *b* comme vert bleuâtre clair, rempli de grains oolithiques.

10. AVICULA BED, GROSMONT, *Yorkshire*.

11. *a*, *b*, *c*. DOGGER BED, GROSMONT, *Yorkshire*.

12. PECTEN BED, GROSMONT, *Yorkshire*. — Les échantillons 11 et 12 proviennent des propriétés de MM. Bagnall L'acide phosphorique paraît en moins grande proportion, sauf pour le no 12, que dans les autres minerais liasiques du *Yorkshire*.



ESSAIS DES MINERAIS DE FER.

ESSAIS PAR LA VOIE SÈCHE.

Le culot de fer des essais pratiqués par la voie sèche contient toujours du carbone, souvent aussi, d'après la nature des minerais, de la silice, du phosphore, du soufre et du manganèse. La somme de ces matières peut varier entre 3 et 5 pour 100 et même au delà. Le résultat pour 100 est donc plus élevé que celui donné par la voie humide, et se rapproche davantage de celui qui résulte de la fonte en grand. Les essais se font dans des creusets brasqués ou dans des creusets nus :

1° Dans les creusets brasqués ou doublés de charbon de bois, l'oxyde de fer du minerai est réduit par la brasque ou par l'oxyde de carbone qui se forme nécessairement dans l'intérieur du creuset soumis à une température élevée. Si le flux est bien proportionné, le fer devra contenir le maximum de carbone, et la scorie sera entièrement exempte de fer.

2° Dans les creusets nus ou non brasqués, il faudra mélanger avec le minerai une quantité suffisante de charbon. Les scories retiennent d'ordinaire une petite quantité de fer, et les culots se rapprochent du poids indiqué par l'essai par la voie humide.

FOURNEAUX ET USTENSILES.

Fourneau à air. — La figure 3 représente la coupe verticale par le milieu, de la grille de l'un des fourneaux d'essais du laboratoire métallurgique de l'école des mines de Londres.

a, foyer en briques réfractaires de $0^{mc},50$ sur $0^{m},30$; *b*, cendrier muni d'une porte avec registre qui règle le tirage ; lors-

que la porte est entièrement ouverte, l'appel d'air est plus énergique; la porte fermée, le registre *f* peut être ouvert plus ou moins, suivant les circonstances. Ce registre consiste en un disque de tôle tournant sur un pivot coïncidant avec le centre de la porte et découpé en demi-cercle; une ouverture également demi-circulaire est pratiquée dans la tôle fixe *e* qui forme la porte; l'ouverture du disque peut être tournée de manière à correspondre à celle de la porte ou à la couvrir plus ou moins, pour régler l'entrée de l'air extérieur. Le carnau *d* communique avec une cheminée droite, de 18 mètres environ de hauteur, dans laquelle se rendent les carnaux de cinq autres fourneaux pareils. Chaque fourneau, s'il est possible, doit avoir sa propre cheminée, ou encore, ce qui revient au même, la cheminée générale doit être partagée en autant de divisions qu'il y a de fourneaux. La paroi extérieure et celle au-dessous de la grille sont en briques ordinaires; toute la maçonnerie est reliée solidement par des armatures et des tirants en fonte. La bouche du fourneau est fermée avec des briques réfractaires *i*, *h*, maintenues aux deux bouts par une armature de fer plat serrée par un coin ou par une petite vis. Il y a deux couvercles réfractaires de différentes dimensions; le plus grand n'a besoin d'être enlevé que lorsqu'on veut retirer le creuset du fourneau. Le tirage ne se règle pas seulement par la porte à registre, mais en découvrant plus ou moins la bouche du fourneau, ou en plaçant un morceau de brique dans le carnau *c* qui mène à la cheminée, ou enfin par un registre placé au haut de la

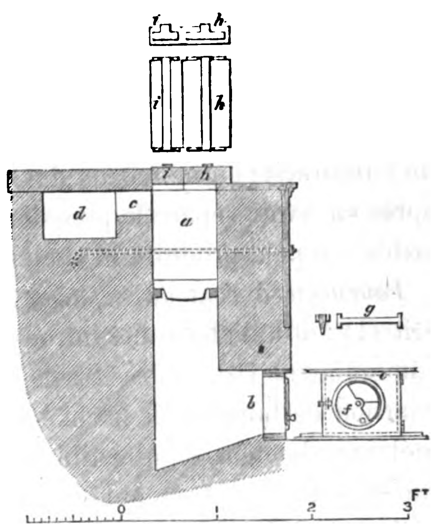


Fig. 3. — Échelle métrique : 0m.04 par mètre.

cheminée. Grâce à ces dispositions, on contrôle parfaitement la température du fourneau ; soit qu'on la maintienne au-dessous du rouge sombre, soit qu'on l'élève assez pour fondre du nickel ou du manganèse.

Ce fourneau convient très-bien aux essais de fer. On y brûle de l'anthracite en morceaux de 3 à 6 centimètres de diamètre, après en avoir séparé la poussière avec un tamis ou avec un crible : il peut produire la chaleur blanche.

Fourneau à vent de Sefström. — Ce fourneau a été décrit (1) : il a d'abord été introduit en Suède, où on l'emploie communément dans les essais de fer. On y consomme du charbon de bois ; mais le coke de cornue, l'anthracite ou un mélange de deux combustibles en morceaux de 2 à 3 centimètres de diamètre, conviennent également très-bien. Quatre petits creusets d'essai peuvent y être chauffés à la fois.

Le *fourneau Deville*, qui a été également décrit (2), supporte aussi des températures élevées ; la cendre et le mâchefer sont plus facilement enlevés que dans le fourneau Sefström.

CREUSETS ET MOULES A CREUSETS.

On trouvera dans le premier volume une description du moule suédois adopté pour les petits creusets, avec quelques modifications suggérées par une longue pratique dans le laboratoire métallurgique, ainsi que celle du procédé de fabrication des creusets (3). Nous employons, pour les creusets, un mélange de 2 parties environ d'argile réfractaire non calcinée, de bonne qualité, avec 1 partie d'argile réfractaire calcinée. Avec 2 kilogrammes d'argile crue et 1 kilogramme d'argile cuite ou calcin, on peut fabriquer environ six douzaines et demie de creusets et deux douzaines de couvercles. Les ra-

(1) *Métallurgie*, t. I, p. 362, fig. 74.
(2) *Métallurgie*, t. I, p. 363, fig. 75 et 76.
(3) *Métallurgie*, t. I, p. 356, fig. 63 à 70.

clures et les déchets d'argile sont utilisés pour les couvercles.

Pour brasquer les creusets, on peut se servir d'un mélange de 4 parties en poids de poussier de charbon de bois et 1 partie de mélasse. Un mélange d'environ 368 grammes de poussier de charbon de bois avec 100 grammes de mélasse, suffira pour brasquer environ 48 creusets. Ce mélange, après addition d'un peu d'eau, devra être battu dans un mortier, jusqu'à ce qu'il soit débarrassé de tous grumeaux et parfaitement adhérent, quand on le presse entre les doigts. Une fois bordés, les creusets sont séchés avec leurs couvercles, puis chauffés au rouge clair dans un moufle, jusqu'à ce que la flamme cesse de paraître autour de l'ouverture du creuset. On les enlève, et quand ils sont tout à fait refroidis, les couvercles sont ôtés : la brasque doit être solide, d'un tissu serré, sans gerçures, la cavité unie et bien formée. Les tampons de charbon pour fermer la brasque sont taillés dans des morceaux de charbon ordinaire, avec une scie à dents grossières et une râpe, ou bien dans la brasque de vieux creusets. En Suède, les creusets sont doublés de poussier de charbon humecté d'eau, et la brasque est ensuite séchée. La plus petite grandeur (n° 1) des creusets français en argile peut être employée avec avantage, si l'on manque de moules pour faire ses propres creusets.

Pinces de fourneau. — Les pinces représentées dans la figure 70 (1) servent à placer les creusets dans le fourneau, et celles de la figure 72, à enlever les supports ou fromages supportant une fournée de creusets, ou bien les grands creusets.

FLUX.

Silice.—Du quartz blanc ou du cristal de roche plongé dans l'eau pendant qu'il est rouge et ensuite pulvérisé, est préférable, à cause de sa pureté; mais du sable blanc, comme celui

(1) *Métallurgie*, t. I, p. 361.

qui sert à faire le verre, des silex provenant de terres à foulon et broyés, ou du grès pilé, peuvent être substitués au quartz. On ne se sert de silice que dans les essais des minerais qui en manquent.

Verre. — Le verre blanc à vitres, rougi et éteint dans l'eau. puis pulvérisé, est généralement employé : il contient de 60 à 70 pour 100 de silice, et, comme il est très-fusible, il remplace la silice ou les silicates d'alumine. Une variété de verre blanc, employé dans les essais du laboratoire métallurgique, contient 60.69 pour 100 de silice; le reste se compose de chaux, de potasse, etc. Le verre à bouteilles contient de l'oxyde de fer, et le *flint glass*, du protoxyde de plomb; aussi doivent-ils être rejetés.

Argile à porcelaine. — C'est un silicate d'alumine, qui forme un flux très-pur et très-utile, car il est exempt d'oxyde de fer. Un échantillon d'argile du Cornouailles, adopté au laboratoire d'essais, contient 46.23 de silice, 41.13 d'alumine (par différence) et 12.64 pour 100 d'eau. On se sert de l'argile à l'état hydraté, et d'autres fois à l'état anhydre ; dans le dernier cas, on la réduit en poudre, puis on la fait rougir ; sans cette précaution, elle resterait en grumeaux durs. 100 parties d'argile calcinée contiennent 53 de silice et 47 pour 100 d'alumine (1).

Argile schisteuse. — C'est du silicate d'alumine ; quelquefois prise comme fondant dans les hauts fourneaux, elle sert souvent aussi dans les essais de fer. Elle forme un très-bon fondant en mélange avec la chaux ; mais elle contient ordinairement de 2 à 5 pour 100 d'oxyde de fer, ce qui nuit à l'exactitude de l'essai. Elle ne doit pas contenir de pyrites de fer. Nous donnons ici une analyse d'argile schisteuse, par M. E. Riley :

(1) Pour les analyses d'argile à porcelaine, voir les tableaux de la *Métallurgie*, t. I, p. 330 à 335.



Silice	59.23
Alumine	22.01
Peroxyde de fer (?)	5.33
Chaux et magnésie	2.00
Potasse	2.40
Eau	9.00
	99.97

Argile réfractaire. — C'est un silicate d'alumine hydraté (1). Il fournit un bon fondant en mélange avec la chaux, et on le substitue à l'argile schisteuse, bien qu'il puisse contenir de 1 à 7 pour 100 d'oxyde de fer; ce qui est un inconvénient.

Scories de haut fourneau. — Elles se composent essentiellement de silicate d'alumine et de chaux. On devra choisir les variétés blanches, grises et vitreuses, presque incolores. Quand elles sont réduites en poudre, elles forment un flux très-utile pour les minerais qui ne contiennent pas beaucoup de gangue, ou pour ceux qui renferment de la silice.

Borax. — Il est trop fusible pour les essais de fer, car il se combine avec l'oxyde de fer à une basse température, bien avant que la réduction se produise; mais on y a recours quelquefois; s'il remplace le verre, l'argile, etc., il faudra augmenter les proportions de chaux pour diminuer la fusibilité du mélange.

Chaux. — On ne devra employer que de la chaux *vive* ordinaire, en poudre; mais le calcaire, la craie ou d'autres variétés de carbonate de chaux peuvent suppléer à la chaux. Le carbonate de chaux contient 56 de chaux et 44 pour 100 d'acide carbonique : 100 parties de chaux équivalent à 178 parties 1/2 de carbonate de chaux. On aura soin de s'assurer que le flux de chaux est exempt de sulfate.

Spath fluor ou *fluorure de calcium.* — On donnera la préférence aux variétés blanches. La présence du quartz n'a pas d'inconvénient; mais le spath sera exempt de tout minéral

(1) Pour les analyses diverses, voir le tableau de la *Métallurgie*, t. I, p. 330 et suiv.

métallifère. Il se fond à une température élevée; c'est un flux très-utile, car il forme des composés fusibles avec la silice et les silicates. On en fait usage au lieu de chaux, ou en mélange avec elle, et il peut remplacer l'argile comme flux. Il contient 51.28 de calcium et 48.72 pour 100 de fluor : 100 parties de spath fluor sont équivalentes à 72 parties de chaux.

ÉCHANTILLON D'ESSAI.

On choisit plusieurs kilogrammes de minerai en morceaux dans le tas ou dans la couche, de façon à obtenir une bonne moyenne d'échantillon. On les concasse grossièrement, on les mélange bien, on les étend sur une surface plane et on retire de la masse un quart environ en poids, que l'on réduit en poudre grossière. On continue à piler jusqu'à ce que la dernière partie, représentant l'échantillon, passe par un tamis de 20 à 30 trous et quelquefois de 40 trous au centimètre carré. On peut concasser le minerai sur une plaque de fonte et le réduire en poussière dans un mortier de porcelaine Wedgwood. On devra éviter les mortiers de fer. Certains minerais, tels que les carbonates argileux, ont souvent une structure et une composition assez uniformes ; un morceau de minerai pris dans la couche, de manière à représenter la totalité de la section, réduit ensuite en poussière, peut être regardé comme un échantillon moyen. Le minerai, s'il est nécessaire, sera desséché à environ 110° C. Quelques variétés de minerais terreux ou bruns contiennent une grande quantité d'eau *hygroscopique*, ainsi que de l'eau *combinée*.

CLASSEMENT DE L'ESSAI ET PROPORTION DU FLUX.

Le choix du flux dépend de la nature de la gangue ; la quantité dépend de la proportion de la gangue, de la dimension

du creuset et du poids du minerai à essayer. Le but est de choisir le flux de façon à obtenir une scorie propre, bien fondue, en quantité suffisante pour recouvrir complétement le culot métallique. On peut admettre, comme type de la scorie désirable, le laitier de haut fourneau correspondant à la formule suivante :

$$Al^2O^3, SiO^3 + 2(3CaO, SiO^3).$$

Sa composition approximative pour 100 est de :

Silice.	38	ou environ	2 parties 1/2.	
Alumine.	15		1	—
Chaux.	47		3	—

Les mélanges suivants de divers flux, une fois fondus, produisent une scorie que l'on peut regarder comme s'approchant de la composition indiquée :

Quartz.	1		1.92	=	36.5 pour 100.
Argile à porcelaine.	2	Silice. . . 0.92 / Alumine . 0.82	0.82		15.5 —
Chaux.	2 1/2		2.5		48 —
Verre.	2 1/2	Silice..	1.75	=	35 pour 100.
		Matières=alumine(*)	0.75		15 —
Chaux.	2 1/2		2,5		50 —
Argile schisteuse ou réfractaire. . . .	3	Silice..	1.8	=	35 pour 100.
		Alumine.	0.9		17 —
Chaux.	2 1/2		2.5		48 —

Si l'on connaît la composition du minerai, il est facile de calculer la quantité de flux nécessaire pour former une scorie avec les bases ou avec la silice, et l'on ajoute, s'il est nécessaire, une certaine quantité de flux, afin de produire assez de scorie pour recouvrir le culot.

(*) Soit 30 pour 100 d'alcalis, de chaux, etc., regardés, à cause de leur fusibilité, comme équivalant à autant d'alumine.

Exemple. — Minerai du Cleveland, essentiellement un carbonate de protoxyde de fer :

	10 grammes de minerai contiennent :		Proportion voulue.			Proportion additionnelle pour augmenter le volume.	Flux total.
Silice......	0.86	Sable..	1gr.	+		1/2	1gr. 1/2
Alumine.....	0.79		0	+	Argile à porcelaine.	1	1 »
Chaux, magnésie et autres bases.	1.30	Chaux.	1 1/4	+		1 1/4	2 1/2

En pratique, on n'a pas recours à l'analyse pour constater les quantités de silice et de base présentes dans le minerai; cette opération prendrait trop de temps, et d'ailleurs elle est complétement superflue. Avec un peu d'habitude, on éprouve peu de difficulté à choisir convenablement les flux. En cas de doute, on pourra généralement suppléer au manque d'expérience en faisant, dans les proportions suivantes, un premier essai sur le minerai :

	Parties en poids.	Parties en poids.	Parties en poids.
Verre.....	4	2 1/2	1
Chaux....	1 1/2	2 1/2	4

Ces trois essais peuvent être faits simultanément. On peut substituer à ces fondants des mélanges d'argile et de chaux.

Dans les essais de minerais et de produits métallurgiques, avec les proportions de flux qui ont donné de bons résultats en pratique, la classification suivante pourra être jugée utile : les proportions sont calculées sur 10 grains (0gr,65) de minerai :

1° Minerais purs ou à peu près exempts de gangue; quelques variétés de minerai de fer magnétique; des hématites brunes et rouges, des minerais de fer spéculaire et micacé :

Verre.....	2.1/2 à 2	Sable.........	1 à 0
Chaux.....	2.1/2 à 3	Argile à porcelaine.	2
		Chaux.......	2 1/2

Scories de haut fourneau..	5
Spath fluor........	5

2° Minerais, etc., contenant de la silice; quelques variétés d'hématite brune, des scories d'affinage ou de puddlage, etc. :

Verre.	1	Argile à porcelaine..	2
Chaux.	4	Chaux.	4

3° Minerais, etc., contenant des carbonates de chaux, de la magnésie, du protoxyde de manganèse, etc.; hématites calcaires, fer spathique :

Verre. . . .	4 à 3	Sable.	1
Chaux. . . .	1 1/2 à 2	Argile à porcelaine.. .	2
		Chaux.	1 1/2

4° Minerais contenant de la silice et de l'alumine; minerais argileux, *black-band*, etc. :

Verre. . . .	2 1/2 à 0	Argile à porcelaine.. .	0 à 2
Chaux.. . .	2 1/2 à 3	Chaux.	2 à 3

Si l'on prend pour chaque essai 10 grains ($0^{gr},65$) de minerai, la balance devra être sensible à 1/50° de grain (1 milligramme). Si les essais sont faits sur 100 grains ($6^{gr},50$) de minerai, une balance sensible à 1/5° ou 1/10° de grain (1 centigramme) suffira. Les flux devront être ajoutés dans les mêmes proportions relatives que celles indiquées plus haut et jusqu'à concurrence de la moitié environ du poids du minerai employé.

INDICATIONS PRATIQUES POUR LA CONDUITE DE L'ESSAI.

Essai au fourneau à air par la méthode suédoise. — On mélange intimement 10 grains ($0^{gr}.65$) de minerai pulvérisé avec du verre, de la chaux ou d'autres fondants. Le mélange se fait avec une spatule sur une feuille de papier collé ou dans un petit mortier en agate. On l'introduit ensuite avec soin dans la cavité du creuset brasqué, où elle est tassée; puis on ferme la cavité avec un tampon de charbon de bois

ou de vieille brasque. Le haut du creuset est luté avec de l'argile. On pourrait se servir du couvercle, mais on s'en passe ordinairement. Trois ou quatre creusets sont placés à la fois dans le fourneau, sur une brique réfractaire servant de support. Quand cette brique a été solidement fixée sur la grille du foyer, on allume le feu et on met du combustible autour du support, mais pas au-dessus. Les creusets sont posés sur le support et on ferme le fourneau après l'avoir rempli de combustible. Quand le feu est en marche, ce qui demande à peu près dix minutes, on abaisse un peu la température en ouvrant la bouche du fourneau pendant 10 minutes, pour permettre à l'eau et à l'acide carbonique de se dégager lentement du minerai ; on referme, et la température est portée au blanc. Dans l'espace de 30 à 40 minutes le combustible est entièrement consumé. On ouvre alors le fourneau, et quand la température est suffisamment basse, on retire les creusets en enlevant le support sur lequel ils reposent. Une fois refroidis, on les casse et l'on retire de la cavité les globules de scorie et le culot métallique adhérent. Le culot de fer débarrassé avec soin de la scorie est pesé ; tous les autres globules de fer qui existeraient devront être détachés, soit en concassant la scorie dans un mortier en acier, soit en l'enveloppant dans du papier pour la briser sous le marteau. On a recours, s'il y a lieu, à un barreau aimanté.

La *scorie* est incolore, transparente, vitreuse, ou blanche, gris clair, gris bleu, opaque et semi-vitreuse, ressemblant à de la porcelaine ou à de l'émail.

Le *culot* est gris foncé, cristallin ou truité, bien formé et se séparant nettement de la scorie.

Si le mélange est pulvérulent, fritté ou vésiculaire et si le fer se trouve divisé en grenailles ou en globules très-petits, c'est que la chaleur n'aura pas été assez forte ou que les flux auront été mal proportionnés. Si la scorie est terne, opaque et imparfaitement fondue et si le culot ou les globules de métal sont

lisses à l'extérieur, un peu malléables et difficiles à détacher de la scorie, cela tient ordinairement à un excès de chaux ou de magnésie ou à une quantité insuffisante d'alumine. Si la scorie est à demi fondue, d'une couleur foncée ; si le fer est en lamelles minces, ou bien si la scorie est résineuse, verte ou d'un gris vert, et si le culot ou les globules sont lisses extérieurement et non graphiteux, il faut l'attribuer à un excès de silice.

Les culots de fer des divers essais d'un même minerai ne doivent pas varier de plus de quelques dixièmes de grains pour 100 (5 ou 6 milligrammes). Les résultats suivants dus à cette méthode ont été calculés pour 100 parties de minerai.

	1re FOURNÉE.				2e FOURNÉE.				3e FOURNÉE.			
Minerai de fer argileux..	32.2	32.3	32.2	32.3	32.5	32.1	32.4	31.7	32.3	32.2	32.2	—
Hématite calcaire.......	35.6	35.8	35.5	35.7	35.3	35.6	35.0	35.1	35.5	35.8	35.4	35.5
Fer spathique...........	39.8	39.7	39.9	—	39.3	39.2	39.3	39.0	39.3	39.9	39.1	39.8
Hématite.............	71.2	71.9	71.0	71.8	71.3	71.6	71.8	—	71.0	71.8	71.0	71.2

Trois ou quatre essais de la même variété de minerai étaient enfournés en même temps, et les résultats consignés dans ce tableau ont été constatés par différentes personnes.

On a observé les faits suivants sur plusieurs substances :

Phosphore. — Le culot, fondu avec des scories ou des laitiers de haut fourneau et quelques variétés de minerais de marais, est ordinairement blanc, dur et cassant.

Manganèse. — Le culot est lisse extérieurement, dur et non graphiteux ; il se brise sous le marteau et présente une cassure blanche, cristalline et à grain serré. La scorie est vitreuse, transparente, de la couleur de l'améthyste ou de l'ambre, ou bien vitreuse, opaque, d'un gris jaune ou brun. Ces résultats se constatent dans les essais de minerais spathiques et de quelques variétés d'hématite brune terreuse.

Titane. — Le culot est lisse à l'extérieur et se brise sous le

marteau avec une cassure d'un gris foncé, terne ou cristalline. Il adhère fortement à la scorie qui est souvent résineuse, noire et scoriacée ou curieusement plissée à l'extérieur. La scorie et quelquefois le culot sont recouverts d'une pellicule métallique de cyano-azoture de titane d'une couleur de cuivre caractéristique ; parfois la scorie est vitreuse et d'une teinte bleuâtre.

Chrome. — Tantôt le culot est lisse, bien fondu, avec une cassure brillante cristalline et d'un blanc d'étain ; tantôt il est blanc, à demi fondu, ou bien il forme une masse spongieuse d'un gris clair, suivant la quantité de chrome contenu dans le fer. Beaucoup d'alliages de fer et de chrome rayent le verre ; la scorie est foncée, résineuse et parfois entourée d'une mince membrane métallique.

Essais dans des creusets nus. — En Anglèterre, on essaye souvent dans des creusets nus, en opérant sur une quantité de minerai, avant ou après grillage, variant entre 100 et 1000 grains (6 à 60 grammes). Les flux mis en œuvre sont principalement des mélanges d'argile schisteuse et de chaux, ou de verre et de chaux, dont on fait varier les quantités et les rapports d'après les indications données. Le minerai est mélangé avec du charbon de bois ou de l'anthracite pulvérisé, ou avec du poussier de coke. La quantité à ajouter doit être proportionnelle à celle de l'oxyde de fer et même l'excéder un peu. 100 parties en poids de sesquioxyde de fer exigent pour leur réduction 22 parties et 1/2 de carbone. On peut se servir de creusets de plombagine de France ou du Cornouailles, et de tous autres creusets de terre. Les bons creusets de plombagine résistent à la plus haute température et servent plusieurs fois. La scorie est relativement exempte de fer, et le fer est d'un gris foncé ou graphiteux. De petites parcelles de graphite se mêlent à la surface extérieure de la scorie aux grenailles de fer. Les creusets français sont d'un bon usage ; les creusets du Cornouailles également, mais ils se ramollissent aux hautes températures des essais ; on remédie un peu à

cet inconvénient en laissant refroidir les creusets avant de les retirer du feu. Les couvercles une fois lutés, on les introduit dans le fourneau chauffé avec du coke ou de l'anthracite, et la température s'élève jusqu'au blanc. La durée d'un essai est d'une heure environ. La scorie doit être vitreuse, transparente, d'un vert clair ou gris par transmisssion; le culot doit être bien fondu. S'il y a des grains métalliques mélangés à la scorie, on les isole en concassant d'abord la scorie et en promenant ensuite un barreau aimanté à la surface.

Les deux essais suivants d'hématite d'Ulvertone ont été faits dans des creusets de Cornouailles :

I.	Grammes.	II.	Grammes.
Minerai	32.39	Minerai	32.39
Argile schisteuse	16.19	Verre	12.95
Chaux	19.43	Chaux	19.43
Anthracite pulvérisé	7.77	Anthracite pulvérisé	7.77
Total	75.78	Poids total	72.54
Poids du fer obtenu	22.54	Poids du fer obtenu	22.34
Fer	69 1/2 %		69 %

La cassure du culot était colorée en gris clair.

Parfois on a recours aux essais par la voie sèche, en vue d'obtenir des indications sur la nature et la quantité de fondants nécessaires dans le traitement au haut fourneau : c'est ce qui a lieu spécialement en Suède. Les creusets doivent être alors brasqués avec du charbon de bois, de la plombagine ou toutes autres matières charbonneuses, pour que le creuset même ne soit pas en contact avec le minerai et ne puisse pas en altérer la fusibilité. Les flux doivent être de la même nature que ceux employés en grand.

ESSAIS PAR LA VOIE HUMIDE.

Le bichromate de potasse et le permanganate de potasse constituent les deux seules méthodes de dosage dont on puisse se servir pratiquement pour la recherche du fer avec des solutions titrées. Au point de vue d'une extrême exactitude, de la rapidité d'exécution et de la facilité d'application, ces méthodes laissent peu à désirer. Dans les deux cas, il faut :

1° Dissoudre le fer dans l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique étendu ;

2° Réduire le fer en sous-sel dans cette dissolution ;

3° Convertir le sous-sel de fer en sur-sel par une solution titrée.

C'est avec du zinc ou du sulfite de soude qu'on peut le plus facilement réduire le sesquichlorure ou le sesquisulfate de fer en protochlorure ou en protosulfate de fer.

Zinc. — Le zinc doit être exempt de fer; celui du commerce en contient toujours et parfois en grande quantité. Nous avons fréquemment constaté sa présence dans le zinc vendu à l'état de grenailles. Si le zinc est en lingots, tel que le livrent directement les usines, on le trouvera relativement pur de tout mélange de fer : le zinc que nous avons l'habitude d'employer contient environ 0.10 pour 100 de fer. Il faut le faire fondre à une chaleur rouge faible et le verser ensuite de quelques pieds de haut dans de l'eau chaude; on l'obtient ainsi en *grenailles* qui ne se désagrégent pas aussi facilement, par l'action de l'acide, que celles projetées dans l'eau froide. On se sert également de petites lames de zinc en feuilles. Si l'on ne dispose pas de zinc suffisamment pur, il importe, dans l'essai du minerai, de tenir compte de la quantité de fer que contient le poids de zinc employé. Le zinc peut être débarrassé du fer en le distillant dans une cornue en terre. Le plomb généralement présent dans le zinc, et que l'acide

chlorhydrique dilué n'attaque pas, mais laisse sous forme de résidu noir, n'affecte pas les résultats. Les indications nécessaires pour réduire par le zinc la solution d'un sur-sel de fer seront données plus loin.

Sulfite de soude. — On ajoute ce sulfite sous forme de cristaux, ou on en prépare à l'avance une solution. Exposée à l'air, cette solution absorbe peu à peu l'oxygène et est bientôt hors d'usage. Pour opérer la réduction d'un sur-sel de fer par le sulfite de soude, on fait bouillir dans l'acide une quantité du minerai pesée ; on l'étend avec environ 250 ou 300 centimètres cubes d'eau dans un flacon d'un demi-litre, muni d'un entonnoir; puis on ajoute le sulfite de soude et l'on fait digérer la solution à une chaleur douce jusqu'à ce qu'elle se soit presque décolorée. On pousse alors à l'ébullition, que l'on maintient jusqu'à ce que la liqueur devienne incolore ou d'une teinte vert pâle et qu'on ne sente plus l'odeur du gaz acide sulfureux. Il faut éviter d'employer un excès d'acide. S'il reste quelque doute sur la présence de l'acide sulfureux, on ajoute un petit morceau de zinc; car, dans le cas où il resterait quelque trace de sulfite, l'odeur de l'hydrogène sulfuré se développe aussitôt.

On apprécie le degré des solutions de bichromate ou de permanganate de potasse à l'aide de fil de fer, de sulfate de fer, ou encore de sulfate de fer et d'ammoniaque.

Fil de fer. — Le ***fil de clavecin*** est le meilleur, car il est des plus purs. Il contient, en moyenne, près de 99.5 pour 100 de fer métallique, et le reste consiste en petites quantités de carbone, de silicium, etc.; on peut le regarder, dans des essais pratiques, comme du fer pur. Si l'on en titre les solutions destinées à doser le fer dans la fonte, l'acier, etc., où il faut une grande exactitude, on devra tenir compte des impuretés (0,5 pour 100). Le fer déposé par la pile, lorsqu'on peut s'en procurer, est préférable, car il est généralement débarrassé de tous les corps étrangers; c'est en réalité du

fer pur. Le fil de fer dont nous avons l'habitude de nous servir depuis plusieurs années et que l'on essaye de temps en temps avec des solutions de bichromate ou de permanganate de potasse, titrées par du fer déposé par la pile, contenait 99.354, — 99.420, — 99.706, — 99.592 et 99.537 pour 100 de fer métallique.

Sulfate de fer. — Le sulfate cristallisé ordinaire est sujet à se peroxyder à la surface; préparé avec soin par le procédé indiqué page 72, il peut se conserver sans éprouver de changement dans un flacon bien bouché pendant plusieurs années. C'est un sel très-utile pour titrer avec exactitude; sa formule est $FeO, SO^3 + 7HO$; il contient 20.14 pour 100 de fer métallique. Une certaine quantité de ce sel préparé par M. C. Tookey, d'après le mode déjà décrit, fut trouvée contenir 20.14 et 20.13 pour 100 de fer, correspondant au total théorique. Dans ces essais, le fer avait été dosé avec une solution normale de bichromate de potasse titrée par du fer pur déposé à la pile; mais titrée avec du fil de fer ordinaire, la solution normale indiquait (sans correction) 20.22 pour 100 de fer, soit une erreur de 0.08 pour 100 en plus.

Sulfate de fer et d'ammoniaque. — Sa formule est $AzH^4O, SO^3 + FeO SO^3 + 6HO$; pur, il a l'avantage de contenir précisément le septième de son poids de fer, soit 14.286 pour 100.

Il est assez difficile, sans le peroxyder légèrement, de chasser les dernières traces d'eau hygroscopique de ce sel, même en le desséchant dans le vide. Un échantillon ainsi desséché pendant quinze jours s'était un peu décoloré et avait pris une teinte jaune brune; il ne contenait que 14.116 pour 100 de fer à l'état de protoxyde; le reste était peroxydé. On prépare ce sel par la méthode décrite page 72.

ESSAI PAR LE BICHROMATE DE POTASSE.

Le Dr Penny (de Glascow) a le premier fait connaître ce mode de dosage, qui repose sur le fait suivant : Lorsqu'une solution acide d'un protosel de fer est traitée par une solution contenant de l'acide chromique, elle se transforme en un sur-sel de fer avec formation d'un sesquisel de chrome. La réaction du bichromate de potasse sur une solution acide de protochlorure de fer se représente par la formule suivante :

$$6FeCl + 7HCl + KO, 2CrO^3 = 3Fe^2Cl^3 + KCl + Cr^2Cl^3 + 7HO.$$

Quand on a constaté la quantité d'une dissolution de bichromate de potasse nécessaire pour convertir un poids donné de fer, de l'état de protosel à celui de sur-sel, il est facile d'évaluer, par un essai comparatif, la teneur en fer d'un poids donné de minerai. On réduit d'abord la solution de fer en protosel, en la faisant bouillir avec du zinc ou du sulfite de soude, et l'essai se termine à l'aide d'une liqueur de cyanoferrure de potassium. Voici les réactifs nécessaires :

Liqueur d'essai. — On la prépare en dissolvant $0^{gr}.10$ à $0^{gr}.15$ de cyanoferrure de potassium (prussiate rouge de potasse) dans un quart de litre d'eau distillée. Cette solution donne, d'après la proportion de fer qu'ils renferment, une coloration bleue ou vert bleuâtre aux protosels de fer, mais non pas aux sur-sels; elle sert à reconnaître exactement le point où la solution du protochlorure de fer se convertit en sesquichlorure. On la laisse tomber goutte à goutte avec une pipette sur une plaque de porcelaine blanche vernissée. La goutte ne doit guère avoir plus de $0^m.003$ de diamètre, car avec de plus grosses gouttes leur couleur jaune ne permet pas de distinguer aussi facilement la nuance vert bleuâtre indiquant que l'essai est terminé. Si la solution de cyanoferrure est trop concentrée, elle

cause un précipité rougeâtre dans la dissolution à essayer, lorsque l'épreuve tire à sa fin.

Solution normale. — On fait dissoudre 20 grammes de bichromate de potasse cristallisé, pulvérisé et débarrassé de son eau hygroscopique, dans 2 litres (2000 grammes) d'eau distillée; 1000 grammes de cette dissolution doivent former l'équivalent d'environ 10 grammes de fer métallique. Les cristaux se dissolvent rapidement et la solution peut servir aussitôt après; on la conserve dans un flacon bien bouché et on la remue avant d'en faire usage, car l'eau évaporée se condense sur les parois au-dessus du liquide. Avec cette précaution, la solution, une fois titrée, peut se garder sans s'altérer une année et au delà. Ainsi, sur 4 litres de solution préparée en mars 1858, 1 litre correspondait à 9^{gr}.865 de fer, et lorsqu'elle eut été réduite par l'usage à un demi-litre environ, on la titra de nouveau en mai 1860; 1 litre correspondait encore à 9^{gr}.888 de fer.

La solution de bichromate de potasse se titre ainsi : Deux ou plusieurs fils de fer, préalablement débarrassés de toute rouille avec du sable ou du papier émeri, sont pesés avec soin. Les fils peuvent varier en poids de 0^{gr}20 à 0^{gr}.50; on les tord et on fait dissoudre chaque fil avec de l'acide chlorhydrique ou sulfurique dilué, dans un petit matras pourvu d'un entonnoir ou d'un bulbe de verre soufflé au col du matras; après avoir chauffé l'acide pour en chasser l'air, on y introduit le fil à chaud et on maintient l'ébullition jusqu'à ce qu'il ait complétement disparu : on retire alors le matras du feu. La solution de fer est ainsi exempte de toute nuance jaune causée par un sel de fer maximum. On l'étend d'eau, puis on transvase dans une capsule de porcelaine; le flacon est rincé à diverses reprises, et l'on verse de l'eau jusqu'à parfaire un demi-litre. La burette graduée est remplie jusqu'à la division supérieure avec la dissolution de bichromate de potasse, que l'on verse goutte à goutte dans la solution acide de fer, jusqu'à ce qu'une

goutte de la solution ne donne plus, par la liqueur d'essai ou de cyanoferrure de potassium, la moindre trace de coloration vert bleuâtre. On lit alors sur l'échelle de la burette le nombre de divisions correspondant au volume de la solution employée. On répète la même opération avec les autres fils de fer, et l'on calcule, d'après le nombre observé dans chaque essai, la quantité de fer équivalant à 10 grammes (ou à 200 divisions) de la solution de bichromate : la moyenne des essais fournit le titre de la solution normale. Nous indiquons dans l'ordre où ils ont été calculés les résultats, de manière à montrer également l'exactitude de la méthode :

Poids du fil de fer en grammes.	Nombre de divisions de la dissolution de bichromate sur la burette.	Proportion de fer indiquée par le calcul (200 divisions — 10 grammes)
0gr.246	76.25	9.954 grammes.
0 .325	101.00	9.950
0 .394	122.25	9.947
0 .204	63.50	9.946
	Moyenne ou titre	9.949
Si 100 de fil de fer contiennent 99.5 pour 100 de fer pur, le titre est égal à		9.989

La même solution titrée avec du sulfate de fer pur a donné les résultats suivants :

Poids du sulfate. Grammes.	Nombre de divisions de la burette.	200 divisions = fer pur. Grammes.
1.619 (= 0.326 fer)	101.50	9.923
1.295 (= 0.261 fer)	81.25	9.917
	Moyenne ou titre. . . .	9.920

Si on a recours, pour doser la dissolution de bichromate, à du sulfate de fer ou à du sulfate de fer et d'ammoniaque, on pèsera soigneusement 1 gramme à 1gr.5 de sulfate simple, ou 1gr.5, 2 grammes et 2gr.5 de sulfate double, que l'on fera dissoudre avec un demi-litre d'eau dans une capsule de porcelaine ; la dissolution acidifiée par de l'acide sulfurique, l'analyse se terminera comme il est dit plus haut.

Le titre 100 grammes de dissolution de bichromate, égal à environ 1 gramme de fil de fer, convient au dosage des minerais et des autres produits sidérurgiques et permet d'arriver à des résultats suffisamment approximatifs dans la pratique. Pour des dosages théoriques exacts, nous employons une solution d'un titre moitié moindre, soit 100 grammes de solution de bichromate équivalant à environ à $0^{gr}.50$ de fer, et les calculs sont rapportés au fer pur. La matière à essayer ne doit pas contenir en tout plus de $0^{gr}.50$ de fer, afin que la burette n'ait pas à être remplie de nouveau pendant l'essai.

Mode d'essai. — On fait chauffer dans un matras surmonté d'un petit entonnoir de 1 à 2 grammes de minerai avec de l'acide chlorhydrique concentré, pendant 20 ou 30 minutes environ. La décomposition opérée, la liqueur est étendue d'eau; on ajoute quelques morceaux de zinc en grenaille et jusqu'à ce que toute couleur jaune ait disparu, on entretient l'ébullition. La solution devient incolore ou nuancée en vert pâle et ne tient en suspension aucune parcelle de zinc. On la tranvase alors dans une capsule plate de porcelaine blanche; le flacon est soigneusement lavé et les eaux de lavage sont ajoutées à la solution, en ayant la précaution de ne laisser passer aucune parcelle de zinc. La solution est ensuite étendue d'un demi-litre d'eau; on y laisse égoutter lentement la solution normale de la burette graduée en l'agitant de temps en temps, jusqu'à ce qu'une goutte enlevée à l'extrémité d'une baguette de verre cesse de donner la plus légère coloration au contact d'une goutte de la liqueur d'essai ou de ferrocyanure sur la plaque de porcelaine.

A mesure que l'essai avance, le sesquichlorure de chrome formé communique une couleur verte foncée à la solution du minerai et la couleur du bichromate de potasse disparaît d'autant moins vite que l'essai touche à son terme. Si la solution prend une teinte jaune ou jaune rouge, c'est que l'acide chlorhydrique n'a pas été employé en quantité suffisante et que le

bichromate n'a pas été réduit. On peut achever l'essai en ajoutant de l'acide, pourvu qu'on n'ait pas, par inadvertance, introduit un excès de solution normale.

L'essai terminé, une petite quantité de la *liqueur d'essai* versée dans la capsule ne doit produire qu'un léger nuage. Cette indication peut servir de contrôle jusqu'à ce qu'on ait acquis une plus grande expérience du mode d'essai. La réduction du sesquichlorure de fer en protochlorure effectuée, le résidu de zinc devra se déposer entièrement avant que l'on décante; ou bien on devra le dissoudre en ajoutant de l'acide, ce qui prolonge la durée de l'essai. Il ne doit pas y avoir de zinc en présence du bichromate. Bien que les minerais carbonatés, tels que le blackband et les autres variétés argileuses, forment par l'action directe de l'acide chlorhydrique des solutions de protochlorure de fer, l'addition d'un peu de zinc est nécessaire pour la réduction de la petite quantité de sesquichlorure de fer présent. Si l'on emploie le sulfite alcalin au lieu de zinc, il faut avoir soin d'expulser complétement l'acide sulfureux. En cas de doute sur la réduction complète du fer en protosel, on prend une goutte de la solution et on l'essaye au sulfocyanure de potassium; la couleur rouge-sang indiquera la présence d'un sesquisel de fer. Avec le blackband et certaines variétés de minerai de fer argileux, la présence de la matière organique permet difficilement de savoir quand la décomposition du minerai par l'acide est complète. Si le minerai est finement divisé, il suffira de faire bouillir de 20 à 30 minutes pour que le fer soit entièrement dissous. Une petite quantité de fer, sous la forme de pyrite ou autrement, reste dans le résidu, mais la proportion dépasse rarement 0.5 pour 100 du poids du minerai; ordinairement elle est moindre et on peut la négliger dans les essais industriels. Si on juge convenable de l'évaluer, il vaut mieux répéter l'essai sur le minerai grillé; le fer présent à l'état de pyrite est alors oxydé et rendu soluble dans l'acide. Parfois, quelques variétés d'hématite micacée

et de fer magnétique, quelque finement pulvérisés qu'ils soient, résistent à l'action prolongée de l'acide chlorhydrique. En faisant préalablement chauffer dans un creuset à réduction de Rose un poids donné de ces minerais, pendant 10 ou 15 minutes, à travers un courant de gaz de houille ou d'hydrogène, le fer réduit se dissoudra rapidement et complétement dans l'acide chlorhydrique. On peut aussi recourir à la fusion avec les carbonates alcalins ou le bisulfate de potasse, quand le minerai résiste à l'action directe de l'acide. Après fusion, la masse est mise à digérer avec l'acide et l'essai est conduit comme à l'ordinaire.

La matière organique des minerais de fer n'affecte pas chimiquement l'action du bichromate de potasse; mais, quand elle est en quantité considérable, comme dans le blackband, elle intervient mécaniquement en restant en suspension et en diminuant à la fin de l'essai la coloration. Si on éprouve quelques difficultés, on peut enlever la matière organique par filtration, avant d'étendre à la fin la solution d'eau. Pendant la filtration, un morceau de zinc est placé dans le filtre, l'entonnoir est recouvert d'une plaque de verre et le lavage est opéré rapidement avec de l'eau chaude. Le minerai peut être encore débarrassé de la matière organique par une calcination préalable dans un creuset, ou dans un moufle, ou sur un bec de gaz à double courant.

ESSAI PAR LE PERMANGANATE DE POTASSE.

Ce procédé a été imaginé par M. Margueritte. Il est fondé sur la réaction entre une solution acide d'un protosel de fer et le permanganate de potasse, qui donne lieu à un sesquisel de fer. La réaction, dans le cas du protosulfate de fer, peut être représentée par la formule suivante :

$$10FeO,SO^3 + KO,Mn^2O^7 + 8HO,SO^3 = 5Fe^2O^3,3SO^3 + KO,SO^3 + 2MnO,SO^3 + 8HO.$$

Un certain volume d'une solution de permanganate de potasse est nécessaire pour oxyder un poids donné de fer dissous à l'état de protosel. La fin de l'opération est indiquée par le changement de teinte que cause un léger excès de permanganate de potasse, indispensable dans cette méthode. On doit choisir ce sel en cristaux, que l'on conserve sans altération pour l'usage dans un flacon de verre bouché à l'émeri ; autrement, on peut le préparer de la manière suivante, dans les proportions équivalentes : $3MnO^2$, $3KO$, et $1KO,ClO^5$; ou bien, 8 parties de peroxyde de manganèse (suédois), 10 parties d'hydrate de potasse (fondue) et 7 parties de chlorate de potasse en poids, que l'on soumet, après mélange dans un creuset de terre, à une température d'un rouge sombre pendant une heure environ. La masse fondue est traitée par l'eau et on y ajoute de l'acide azotique avec précaution, jusqu'à ce que la liqueur acquière une couleur d'un beau violet foncé ; on la filtre alors sur de l'amiante ou sur du verre grossièrement pulvérisé (afin d'en séparer le bioxyde de manganèse); ou on laisse le résidu se reposer et on décante la liqueur qui surnage. Le résidu peut servir à préparer des nouvelles qualités de permanganate.

Solution normale. — On dissout 15 grammes de permanganate de potasse en cristaux dans 2 litres d'eau distillée, et afin de déterminer le titre de cette solution on opère ainsi : On fait dissoudre un poids donné de fil de fer dans de l'acide chlorhydrique ou sulfurique dilué, avec les précautions déjà indiquées. La solution de fer, étendue d'un litre d'eau distillée, est versée dans un grand flacon, avec une feuille de papier blanc dessous, ou, mieux encore, dans une capsule plate de porcelaine blanche. Quand la liqueur de permanganate est refroidie, on la fait couler goutte à goutte, en agitant sans interruption la solution de fer, jusqu'à ce que l'on aperçoive la trace la plus faible de la coloration rose caractéristique. Le nombre de divisions de dissolution de permanganate de

potasse employées à la suroxydation est alors noté, et on fait le calcul. Le procédé est répété sur un ou plusieurs morceaux de fil de fer pesés ; la moyenne des résultats les plus rapprochés donne le titre.

Voici, dans l'ordre où ils se sont présentés, quelques chiffres qui servent aussi à prouver l'exactitude de la méthode. L'acide sulfurique avait été employé pour dissoudre le fer.

Poids de fil de fer.	Nombre de divisions de la solution de permanganate de potasse employée.	Total de fer calculé 200 divisions (10 grammes) égal à
Grammes.		Grammes.
2.354	73.75	9.855
3.465	108.75	9.837
4.546	142.50	9.857
3.044	95.25	9.867
	Résultat moyen ou titre.	9.854

Si 100 de fil de fer contiennent 5 de fer pur, le titre calculé est égal à 9.805.

La même solution de permanganate titrée avec du sulfate de fer pur, a conduit aux nombres suivants :

Poids de sulfate de fer.	Nombre de divisions.	200 divisions = fer pur.
Grammes.		Grammes.
1.619 (= 0gr.326 de fer). . . .	102.75	9.802
1.295	82.25	9.796
2.267	143.50	9.825
	Résultat moyen.	9.802

Il y a une objection contre l'emploi de la solution de permanganate de potasse, c'est la facilité avec laquelle elle se décompose. Quand on la prépare avec du sel en cristaux, on peut la conserver sans qu'elle s'altère sensiblement.

Les résultats mentionnés plus haut avaient été constatés en mars 1862, époque à laquelle une grande quantité de cette solution avait été préparée. Le reste de la solution, titré en mars

1863, a donné, pour 10 grammes de solution, les chiffres suivants :

Par le fil de fer.	9.811 et. . . .	9.783	grammes.
Résultat moyen ou titre..		9.797	—
Par le sulfate de fer pur. .	9.766 et. . . .	9.747	—
Résultat moyen..		9.757	—
Altération en 12 mois telle qu'elle fut constatée par le dosage avec fil de fer.		= 0.057	—
Altération constatée après 12 mois par le dosage avec sulfate de fer.		= 0.045	—

Nous nous servons dans les analyses d'une solution de 100 grammes, égale à $0^{gr}.50$ environ de fer.

Pour faire une solution normale avec la solution concentrée de permanganate de potasse, préparée d'après les instructions précédentes, il convient de déterminer approximativement son degré au moyen d'un morceau de fil de fer pesé, puis on étend la solution suivant le degré voulu ; enfin, on la titre correctement d'après la méthode déjà décrite. Cette solution, étant plus sujette à se décomposer, doit être éprouvée de temps en temps.

Procédé. — On prend, conformément aux indications déjà données, un poids du minerai à dissoudre par l'acide ; on étend d'eau la solution de fer réduit par du zinc ou du sulfite de soude et l'on verse goutte à goutte la solution normale de permanganate de potasse dans la solution *froide* de fer, jusqu'à ce que la coloration rose se manifeste. On note alors le nombre de divisions et l'on fait les calculs nécessaires. Le sesquisulfate de fer a un pouvoir colorant moindre que le sesquichlorure de fer. Si l'on prend de l'acide chlorhydrique et qu'on ajoute de l'acide sulfurique à l'eau avant de diluer, la coloration finale du permanganate devient plus facile à distinguer. Nous ne conseillons pas l'emploi d'une burette avec un tube en caoutchouc au bas. On peut prendre, pour la solution de permanganate, la burette anglaise ou la burette de

Mohr, munie d'un robinet en verre, ou effilée à l'extrémité inférieure; le tube en caoutchouc et la vis de pression sont ajustés à la partie supérieure.

Si l'on verse le permanganate trop vite, ou si la quantité d'acide a été insuffisante, il se forme un précipité brun qui se dissout généralement en l'agitant. Quand la solution n'est pas suffisamment étendue ou que l'on ajoute le permanganate avant qu'elle soit froide, il se dégage du chlore et l'essai est manqué. Les minerais de fer contenant des matières organiques devront être calcinés ou bien la solution acide devra être filtrée, comme on l'a indiqué, avant d'y verser le permanganate. Pendant l'essai, le permanganate disparaît d'autant moins vite qu'on approche de la fin. On doit noter la division quand la teinte change pour la première fois, car la coloration rose disparaît par le repos. Après avoir lu le nombre de divisions marquées, on peut ajouter encore une goutte de permanganate; si elle augmente la coloration de la solution, elle sert à contrôler le résultat.

Les données suivantes se rapportent aux indications précédentes :

1. Du blackband contenant 6.96 pour 100 de matières organiques a donné :

Avec une solution normale de bichromate de potasse (100gr = 4.87 de fer) sur le minerai brut et sans filtrer la matière organique.	26.785 °/₀	de fer.
Id. sur le minerai préalablement calciné. . .	26.785	—
Avec une solution normale de permanganate de potasse (100gr = 4.88 de fer); la matière organique avait été séparée par filtration. .	26.783	—

En voulant doser, en présence de la matière organique, le fer contenu dans 1 gramme de minerai, avec la même solution de permanganate, il a fallu 120 divisions = 29.28 pour 100 de fer, avant que la couleur rose se manifestât.

2. Blackband de Bloxwich, contenant 30 pour 100 environ de matière organique :

Fer dosé par le permanganate de potasse sur le minerai préalablement calciné (par R. S.)	=28.44	pour 100.
Fer dosé à l'aide du bichromate de potasse, après avoir séparé sur un filtre la matière organique (par R. S.)	=28.47	—
Id. sur le minerai brut, sans filtration (par C. T.)	=28.38	—
Id. sur le minerai, avec une autre solution de bichromate (par H. Coode)	=28,30	—

La quantité de matière organique de ce minerai est très-considérable. Deux dosages du fer avec une solution de bichromate, en présence de la matière organique, donnèrent, la solution n'ayant pas été suffisamment étendue, 26.85 et 26.77 pour 100 de fer. L'erreur avait été causée uniquement par l'action mécanique de la matière organique, car après avoir filtré on constata qu'il était nécessaire d'ajouter du bichromate, et l'on obtint la proportion exacte de fer pour 100.

Nous avons pratiqué couramment pendant plusieurs années les méthodes du docteur Penny et de M. Margueritte ; mais au point de vue pratique, nous donnons la préférence au procédé Penny, par les raisons suivantes :

1. Le bichromate de potasse n'exige pas de préparation spéciale; c'est un sel du commerce et les cristaux sont faciles à obtenir.

2. La solution se prépare aisément et se prête à un usage immédiat.

3. Après avoir été titrée une fois, la solution, quand on doit la conserver longtemps, est moins sujette à se décomposer que celle du permanganate de potasse.

4. Cette méthode offre moins de causes d'erreur dans la manipulation, car il n'y a pas à craindre de dégagement de chlore pendant l'essai, ni la présence des matières organiques, etc.

5. Elle est aussi exacte que celle du permanganate.

6. Elle exige moins de temps, puisque la filtration est généralement inutile, même quand la matière organique se trouve en grandes quantités; et l'on n'a pas à craindre que la liqueur d'essai se refroidisse, comme cela a lieu avec le permanganate.

Le tableau suivant reproduit les résultats d'essais par la voie humide, avec des solutions normales de bichromate de potasse ou de permanganate, et par la voie sèche, dans des creusets brasqués selon le procédé suédois.

Dans l'*addition II*, les traducteurs ont décrit les méthodes d'analyse suivies au laboratoire métallurgique de Londres, méthodes qui ont servi à établir les tableaux précédents.

TABLEAU COMPARATIF

des résultats obtenus par la voie humide et par la voie sèche.

MINERAI. UN GRAMME.	VOIE HUMIDE.	VOIE SÈCHE.	FLUX EN GRAMMES.	
Hématite.........	69.75	73.4	Verre..... 0.20	Fer gris foncé, graphiteux, s'aplatit un peu avant de se briser.
		73.2	Chaux..... 0.30	Scorie blanche, opaque, cristalline, semi-vitreuse.
Idem.............	68.08	70.4	Chaux..... 0.30	Idem.
		70.3	Sable..... 0.05	Fer gris foncé.
			Argile à porcelaine. 0.20	Scorie vitreuse, transparente et incolore.
			Chaux..... 0.25	
Idem.............	57.57	59.6	Verre..... 0.20	
	57.62	59.9	Chaux. ... 0.30	
Minerai de fer brun	43.45	45.0	Verre..... 0.25	Fer gris foncé.
(Northamptonshire).	43.42		Chaux..... 0.35	Scorie opaque, vitreuse.
Hématite calcaire..	33.55	35.3	Verre..... 0.40	Fer gris foncé.
(Froghall).		35.6	Chaux..... 0.15	Scorie blanche, grise et semi-vitreuse.
		35.5	Chaux..... 0.15	Fer truité; scorie vitreuse et opaque.
Miner. de fer spath.	(1) 33.95 (2) 34.19	39.8	Verre..... 0.30	Fer gris, lisse à l'extérieur et dur.
		39.6	Chaux..... 0.20	Scorie semi-vitreuse, d'un vert jaunâtre.
		39.9		
Idem.............	34.25	40.4	Chaux. ... 0.20	Scorie vitreuse, transparente et ambrée.
		39.4	Sable..... 0.20	
		40.0	Argile à porcelaine. 0.20	
			Chaux..... 0.15	
Minerai de fer argil.	37.55	42.1	Verre..... 0.25	Fer gris foncé.
		42.8	Chaux..... 0.25	Scorie vitreuse et blanc-grisâtre
Idem.............	29.37	32 3	Verre..... 0.30	Scorie transparente.
		32.2	Chaux..... 0.20	
Idem.............	34.41	37.5	Chaux..... 0.20	Fer gris foncé; scorie vitreuse et grise.
Laitier...........	51.05	62.6	Verre..... 0.10	Fer blanc, cassant, à grain serré; scorie vitreuse et opaque blanche.
			Chaux..... 0.40	
		63.2	Argile à porcelaine 0.20	Scorie, idem.
			Chaux.... 0.40	
Idem.............	56.54	64 1	Verre..... 0.10	
		64.0	Chaux..... 0 40	
Idem.............	57.57	62.1	Chaux..... 0.40	
		61.7		
Sable de fer titanif	32.13	34.3	Verre..... 0.25	Fer globuliforme; surface nette et lisse, s'aplatit un peu; cassure terne, gris foncé.
			Chaux..... 0 15	
			Argile à porcelaine. 0.10	Scorie noire, dure, résineuse, avec membrane cuivrée à la surface extérieure.

(1) Réduit par le zinc. (2) Réduit par le sulfite de soude.

LIVRE II.

EXTRACTION DIRECTE DU FER A L'ÉTAT MALLÉABLE DE SON MINERAI.

Autrefois le fer s'extrayait des minerais à l'état de *fer malléable* seulement; aujourd'hui encore la même méthode est suivie par les indigènes de l'Inde, de Bornéo et de l'Afrique; et on ne peut guère affirmer qu'elle ne se pratique plus en Europe : on rapporte d'ailleurs qu'elle est en activité sur une grande échelle dans les comtés de Vermont et de New-Jersey, aux États-Unis (1). Cette méthode est désignée sous le nom de *méthode directe*, afin de la distinguer de la *méthode* moderne ou *indirecte*, par laquelle on obtient d'abord de la *fonte*. L'appareil est des plus simples; il consiste en un petit foyer ou creuset, pourvu d'une machine soufflante quelconque. On n'a recours qu'à des minerais riches et invariablement à du charbon de bois. On en retire directement un lingot de fer malléable qui est forgé en une masse solide plus ou moins rectangulaire, désignée sous le nom de *massiau*, qu'on étire ensuite en barres sous le marteau. Le mot *bloom*, traduction de *massiau*, est encore usité en anglais; il paraît dérivé du mot saxon *bloma*, que Bosworth a défini : *métal*, *masse* ou *lingot*. Les anciens foyers qui servaient au procédé direct étaient désignés en Angleterre sous le nom de *bloomeries* (2). L'importance de cette méthode comparée avec les procédés modernes indi-

(1) *The Manufacture of Iron in all its various branches.* (De la fabrication du fer sous toutes les formes, par Frederick Overmann.) Philadelphia, p. 245; 1854.

(2) *Contributions to Literature, Historical, Antiquarian, and Metrical.* By Marc Antony Lower, M. A., F. S. A. London, p. 117; 1854. Le mot *bloma ferri* se rencontre plusieurs fois dans le livre de Domesday.

rects, est tout à fait insignifiante. Nous la décrirons néanmoins telle qu'elle est encore pratiquée dans les différentes parties du monde.

FONTE DU FER DANS L'INDE (1).

Depuis un temps immémorial, les Hindous pratiquent la méthode directe, comme l'attestent les énormes tas de scories qu'on rencontre dans diverses parties de l'Inde; on ne saurait imaginer rien de plus grossier que son outillage, ni rien de plus restreint que son échelle d'opération; il semblerait, d'après cela, qu'elle n'a imprimé aucun progrès matériel à l'art, du moins dans la plupart des districts. Les foyers ne sont pas souvent plus grands que des tuyaux de cheminée, et pour obtenir quelques livres de fer, il faut des heures entières d'un travail pénible; pourtant le prix de vente du métal est prodigieusement bas. Ces Hindous appartiennent aux castes inférieures et leur travail est regardé comme dégradant. Ce sont néanmoins des gens laborieux et utiles, extrêmement misérables et gagnant une méchante pitance qui leur suffit à grand'peine : ils sont dignes d'un bien meilleur sort.

Nous devons à M. Howard Blackwell des remercîments pour son rapport succinct et méthodique sur le traitement du fer dans l'Inde, rapport écrit en grande partie d'après ses propres observations. M. Blackwell a exploré, sous la direction du gouvernement local, les ressources minérales des diverses parties du pays qui ont spécialement trait à la houille et au fer,

(1) On a beaucoup écrit à ce sujet et nous avons lu tout ce qui s'y rattache. Nous devons beaucoup de reconnaissance à M. Watson, directeur du Muséum de l'*India board*. Grâce à lui nous avons parcouru de nombreux mémoires dont nous avons tiré des renseignements précieux. On trouvera dans les ouvrages suivants la description des procédés de fonte du fer par les Indiens indigènes : *Dalrymple's oriental Repertory*, t. II, p. 488, 1808, *published by the late East India Company* (Répertoire oriental de Dalrymple, publié par la Compagnie des Indes). — *A Journey from Madras through the countries of Mysore, Canara, and Malabar* (Voyage de Madras par les pays de Mysore et de Canara à Malabar, par Francis Buchanan, M. D.), t. I, p. 171; 1807.



et comme lui-même avait dirigé des usines à fer en Angleterre pendant plusieurs années, il était capable d'étudier avec fruit les procédés indigènes (1).

Les minerais employés sont des oxydes magnétiques et des hématites brunes fort riches. Le capitaine Campbell rapporte qu'il a vu traiter du minerai de fer spéculaire par les *Konds* de Goomsoor (2). Le traitement varie un peu dans quelques districts; ce changement est dû en partie aux coutumes locales et en partie à ce que l'art a le plus prospéré là où la population a augmenté et s'est civilisée.

Les foyers peuvent se classer en trois types. Le *premier* est usité sur la côte occidentale de l'Inde, dans le Ghâts occidental, dans le Deccan et le Carnatic; c'est la forme la plus grossière des foyers en usage dans les districts les moins avancés et parmi les tribus des montagnes. Le *second* et le *troisième* sont adoptés dans l'Inde centrale et dans les provinces du nord-est; ils ressemblent aux types les plus rudimentaires de la forge catalane et des Stückofen allemands ; ils sont beaucoup plus perfectionnés que les premiers et peuvent produire en quantité considérable du fer forgé aussi bien que de l'acier naturel.

Le vent est fourni par des soufflets très-différents de ceux adoptés en Europe. Ils consistent d'ordinaire en une peau de daim ou de chèvre, enlevée à l'animal en ouvrant la partie postérieure; les trous qui correspondent aux pattes sont cousus ; à l'extrémité du cou on introduit une buse de bambou, et le bout de la queue est coupé transversalement, de façon à ménager, lorsque les extrémités sont réunies, une fente allongée et droite pour l'introduction de l'air. Sur la plus

(1) Il est l'auteur du *Report of the Examination of the Mineral districts of the Nerbudda Valley* (Rapport sur les districts minéralogiques de la vallée de Nerbudda), imprimé sous le n° 144, *New series of selections from the Records of the Bombay Government*. Il dirige maintenant les houillères de cette vallée.

(2) *Calcutta Journal of Nat. Hist.*, cité dans l'appendice du *Report of the Government central Museum of Madras* (Rapport sur le Muséum central du gouvernement à Madras), p. 12; 1856.



grande longueur de chacun des bords ou des lèvres qui forment cette fente, on attache fortement à l'extérieur une tige de bambou plat, de sorte que la fente peut s'ouvrir ou se refermer à volonté et remplir l'office d'une soupape. En frottant la peau d'huile ou de lait caillé, on l'assouplit parfaitement. Chaque foyer est au moins pourvu de deux soufflets pareils. Un homme suffit pour les manœuvrer : il s'assied à terre les jambes croisées entre les deux soufflets, et il les fait mouvoir alternativement, afin d'obtenir un vent continu et régulier. Une lanière de cuir passe d'une des lèvres de la soupape autour de ses mains ; pour remplir les soufflets, il laisse tomber la lèvre du bas et élève celle du haut ; l'air en rentrant gonfle la peau comme une sorte de sac conique. Alors il saisit rapidement la lèvre d'en bas, ferme la soupape et appuie de tout son poids sur la peau gonflée, forçant l'air qui y est renfermé à sortir par la buse dans le foyer. On fait sur ce modèle de grands soufflets avec des peaux de buffle, à l'exception que la peau est cousue le long du ventre, et que les tiges de bambou sont réunies à l'une des extrémités de la valve ; on ne peut les séparer qu'à l'autre extrémité où elles se prolongent en dehors de la peau, de façon à former des poignées commodes : ces soufflets n'exigent qu'un seul homme pour les faire mouvoir.

Voici une autre manière de construire et de faire travailler ces soufflets : « L'extrémité ouverte de la peau se termine en repliant un des bords, comme une oreille, d'environ $0^{m}.10$ sur l'autre bord, et en cousant les coins d'en haut et d'en bas, de façon à laisser les deux oreilles entr'ouvertes sur environ $1^{m}.25$. Quand la peau remplie de vent est pressée, l'oreille intérieure s'applique contre celle de l'extérieur et arrête le passage de l'air. Chaque peau est manœuvrée par un homme qui la place sur ses genoux, la comprime avec le coude et l'avant-bras droit, en même temps qu'il saisit une sorte de poignée de cuir en saillie, à peu près à l'endroit où se trouvait la

queue de l'animal. Pour que l'ouvrier puisse de nouveau gonfler la peau, un morceau de corde fixé à l'angle le plus bas de la partie postérieure est lié à l'autre bout à une fiche de fer scellée dans le sol, à environ 0m.30 derrière le coude de l'homme : cette corde tient la peau étendue dans toute sa largeur lorsqu'elle repose sur ses genoux ; une poignée en cuir par laquelle passe le bras est également attachée à l'autre oreille extérieure, de sorte que l'ouverture est élargie en élevant le coude. La peau est ainsi tirée horizontalement par le cou dans une direction ; la lanière ainsi que la cheville la tirent dans une autre : si l'on vient à soulever verticalement la partie du milieu par le cuir tenu dans la main, la peau s'entr'ouvre en forme de triangle et se remplit d'air par l'oreille ouverte. Tandis que l'on comprime la peau par la pression de la main en avant, de manière à tirer sur la corde attachée à la partie postérieure, les oreilles de la valve se ferment et ne permettent que très-difficilement à l'air de s'échapper. La main gauche assiste la main droite pour presser sur les côtés de la peau distendue. On remarquera que, puisque les buses des deux peaux débouchent dans le même tuyau, une partie de l'air passe d'un compartiment dans l'autre, car on les fait mouvoir alternativement ; ce défaut eût pu être corrigé bien simplement en mettant des petits clapets aux extrémités des tuyaux (1). »

A Orissa et dans quelques autres parties du Bengale, on se sert de soufflets tout à fait différents et très-ingénieux, que nous décrirons plus loin (2).

Au Muséum de la Compagnie des Indes, on remarque des petits cylindres de bois automoteurs dont le piston est garni

(1) *On the Manufacture of Bar Iron in Southern India.* By capt. H. Campbell. *Appendix to the Report on the Government central Museum, Madras.* (De la fabrication du fer marchand dans l'Inde méridionale, par le capitaine H. Campbell. Appendice au Rapport sur le Muséum central du gouvernement de Madras). Madras, p. 13; 1856. Extrait du *Calcutta Journal of Natural History.*

(2) Nous avons dans notre collection des modèles de ces trois espèces de soufflets ; nous en devons deux à M. Blanford et l'autre plus grand en peau de buffle, au colonel Anderson.

de plumes. On verra plus loin que ces engins fonctionnent à Bornéo. Nous aurons l'occasion de décrire un admirable appareil soufflant à double jeu, construit en Chine, et dont le piston est également garni de plumes. Au même Musée, on conserve des soufflets les plus ingénieux entièrement construits en feuilles.

Les outils des forges indiennes sont les mêmes partout. L'enclume est en fer forgé, très-petite, carrée, et sans le bec de nos enclumes, faute duquel on a recours à un outil spécial. Les marteaux, les pinces, etc., ne diffèrent pas assez de ceux usités en Europe pour nécessiter une description particulière.

On préfère, pour le charbon, des essences dures, telles que le *teak* et le *babool* (*acacia arabica*) ; à défaut de celles-ci, on emploie toutes espèces de bois, et dans quelques endroits des bambous. Suivant M. Blanford, le bois appelé *sâl* (*shorea robusta*) est préféré quand on peut se le procurer. On casse les plus gros morceaux de charbon de la dimension d'une noix et le menu est criblé.

Le minerai est de l'hématite brune concassée en petits morceaux gros comme des pois; la poussière fine, produite en l'écrasant, est soigneusement tamisée et rejetée.

Premier système de foyer. — Il varie de dimensions et quelquefois de forme, mais le principe de sa construction et le mode de sa conduite sont toujours les mêmes. Dans sa plus simple forme, parmi les tribus des montagnes du Ghâts, il a seulement $0^m.60$ de haut et donne 2 à 3 kilogrammes de fer par charge, tandis que perfectionné dans le Deccan, il a souvent $1^m.20$ de haut et produit par charge 13 kilogrammes de fer. Il est de forme circulaire; sa largeur au fond ou en travers du creuset est de $0^m.25$ à $0^m.40$; au sommet, de $0^m.15$ à $0^m.30$; et, comme il vient d'être dit, sa hauteur mesure de $0^m.60$ à $1^m.20$. Il est entièrement construit en argile convenablement pétrie. La partie inférieure se détériore rapidement, mais on la répare constamment en lutant avec de l'argile fraî-

che. Il y a deux ouvertures au fond du foyer, l'une par laquelle le vent pénètre, et l'autre par où la scorie et le fer sont enlevés. M. Blanford nous apprend à ce sujet que, dans tous les foyers du Bengale et du Carnatic, la scorie coule d'un côté, et que le fer est retiré par l'ouverture même des tuyères.

L'opération de la fonte est conduite de la manière suivante : le foyer, s'il est neuf, est desséché par un feu de quelques heures. On place deux tuyaux en terre ou tuyères d'environ $0^m.30$ de longueur et de $0^m.025$ de diamètre intérieur, côte à côte dans le chio en tête du fourneau, de manière qu'ils pénètrent de $0^m.03$ à $0^m.07$ dans l'intérieur et de $0^m.07$ à $0^m.10$ au-dessus du fond ; à chacun de ces tuyaux est adapté un soufflet : le vide restant du chio est rempli avec de l'argile ; l'ouverture de la face du four est bouchée de la même manière. On remplit alors le foyer à peu près à moitié avec du charbon de bois que l'on allume par le haut ; puis, on achève de l'emplir jusqu'en haut et on donne le vent.

Les fondeurs attachent une grande importance à ce mode d'allumage, pratiqué à une hauteur convenable au-dessus de la tuyère, car le feu descend lentement et une petite portion de charbon se conserve sans brûler au fond du foyer, presque jusqu'à la fin de l'opération.

Lorsque le charbon s'affaisse en haut du foyer, on alterne les charges de charbon et de minerai jusqu'à ce qu'on ait introduit la charge voulue de minerai ; alors on augmente le vent autant que possible jusqu'à la fin de l'opération. La scorie apparaît bientôt dans le creuset, et, quand elle s'élève jusqu'aux tuyères, on la fait couler à l'avant du fourneau en ringardant avec une petite tige ; cependant la plus grande partie de la scorie coule avec le fer. Dans l'espace de quatre à six heures, on complète la charge ; l'avant du foyer est déblayé, et l'on en fait sortir une petite quantité de fer malléable, de scorie et de charbon non brûlé. Si l'opération a été bien dirigée,

le fer est assez chaud pour être aussitôt martelé en un massiau assez plein, d'où s'échappe une scorie épaisse et visqueuse; mais souvent il est trop froid, et l'on doit alors le réchauffer à l'air libre avec un peu de charbon.

Comme une grande partie de l'avant du fourneau est démolie à la fin de chaque charge, pour en extraire le fer, on perd beaucoup de temps et de combustible par le refroidissement. Aussi, est-il généralement impossible de faire plus de deux ou trois charges par jour.

Dans les localités où ce foyer est usité, la main-d'œuvre n'est pas divisée; la même famille ramasse le minerai, carbonise le bois, fait le fer et en façonne immédiatement les articles nécessaires aux habitants. Les fondeurs sont quelquefois nomades; ils vont de village en village, et élèvent leur foyer là où l'on demande du fer et où ils peuvent se procurer du minerai et du charbon.

Deuxième système de foyer. — On le rencontre généralement dans l'Inde centrale et dans les provinces du nord-ouest, où les manufactures ont acquis un plus grand développement.

Ici, les fabricants de fer se sont groupés dans des villages, à portée du minerai et des bois propres à fournir du charbon de bonne qualité. Dans les villes plus importantes, il y a d'ordinaire une subdivision complète dans la main-d'œuvre; les mineurs, les charbonniers, les fondeurs et les forgerons forment des classes séparées; on envoie souvent vendre le fer à une distance considérable du lieu de fabrication.

Les descriptions des foyers du *deuxième* et du *troisième* système s'appliquent à des exemples pris à Tendukera, le plus grand centre manufacturier de l'Inde; on y trouve de cinquante à soixante feux de ces deux types.

Le second système de foyers consiste en un terre-plein d'argile bien battue, dans lequel est ménagée une cavité cylindrique de $0^{m}.35$ à $0^{m}.45$ de diamètre et de $0^{m}.76$ environ de

profondeur. Le terre-plein est souvent assez long pour contenir, à des distances convenables les unes des autres, une rangée de deux ou trois cavités identiques; au fond de chacune se trouvent deux ouvertures en sens opposés.

Le mode de préparation du charbon et du minerai et celui de la conduite du feu sont à peu près les mêmes que ceux déjà exposés. On remplit le fourneau de charbon; l'on y applique le vent, puis on charge alternativement du minerai et du combustible. Lorsque la scorie s'élève à une certaine hauteur dans le foyer, on la dégage à l'avant avec une tige de fer, puis, le fer se trouvant ramassé, on le saisit par le haut du foyer avec des pinces, après lui avoir donné la forme d'une balle. Dès que cette balle est enlevée, on fait couler la scorie à l'avant du foyer, et on y introduit de nouvelles charges de minerai et de charbon. Les défauts des *premiers* feux ne se rencontrent pas dans celui-ci, car le fer est travaillé jusqu'à un certain point dans le foyer même et retiré sans que le fond soit détruit, de sorte qu'on peut recharger sans interruption et sans attendre le refroidissement. On fabrique, dans une journée de seize heures, six loupes de fer pesant chacune près de 10 kilogrammes, que l'on forge sans avoir besoin de réchauffer. Ce système accuse un grand progrès sur le précédent; par le fait, c'est un petit foyer catalan.

Troisième système de foyer. — Il est employé dans les mêmes districts que le deuxième système, mais seulement pour la fabrication d'une qualité supérieure de fer et d'acier naturel. Il est en argile et ordinairement accoté à un talus. Sa hauteur à l'extérieur est de 2^{m}.50 à 3 mètres, et à l'intérieur de 1^{m}.80 à 2^{m}.15, de façon que le fond du creuset s'élève de 0^{m}.65 à 0^{m}.75 au-dessus du sol. Il occupe une surface intérieurement de 0^{mq}.0116 et a la même dimension de haut en bas. Le mur de face n'a pas ordinairement plus de 0^{m}.12 à 0^{m}.15 d'épaisseur, afin de pouvoir le déplacer à volonté; quand il est enlevé, le corps du foyer offre l'aspect d'une tranchée verticale de

$0^{mc}.0116$, dans un mur d'argile bien battue. Le fond du foyer est formé par une plaque ou tuile d'argile sèche percée de nombreux petits trous et placée à l'arrière sous un angle d'environ 45 degrés.

On modifie quelquefois ces dimensions; il a alors $0^m.38$ sur $0^m.50$ de section transversale, et dans la charge du combustible l'on fait alterner le charbon avec le bois. Ce fourneau fonctionne bien, sans cependant offrir des avantages particuliers.

Lorsqu'on veut activer le foyer, on recouvre d'abord de bouse de vache la plaque du sol ou la tuile, sur une épaisseur d'environ $0^m.30$. Sur cette couche de bouse de vache, à $0^m.10$ ou $0^m.12$ environ au-dessus du bord antérieur de la plaque du fond, on dispose deux tuyaux en terre ou tuyères qui ont au moins $0^m.45$ de long et qui pénètrent dans l'intérieur du fourneau presque jusqu'à l'arrière. Le fourneau est alors chargé à moitié de charbon que l'on allume, et on le remplit ensuite jusqu'en haut. Pour donner du vent, l'ouvrier qui fait mouvoir le soufflet s'assied sur une sorte d'escabeau élevé de $0^m.60$ à $0^m.90$ au-dessus du sol. On charge alternativement du minerai et du charbon, et l'opération dure de 12 à 16 heures. On retire de temps en temps une quantité considérable de scories en passant une tige de fer dans les trous de la plaque du fond; on commence par les trous les plus bas et on finit par les trous les plus hauts. On bouche successivement avec de l'argile les trous d'où la scorie s'est écoulée à mesure que le fer s'accumule à leur surface, puis on les recouvre. Lorsque les tuyères sont entièrement brûlées, le fer monte à leur niveau et la fonte est achevée; on extrait alors la plaque du fond avec une pince, et la masse de fer tombe à terre avec la scorie. La loupe de fer pèse environ de 68 à 90 kilogrammes; elle est trop grosse pour être forgée en bloc. On la divise alors avec des marteaux à biseau, et quand elle est froide, on la casse en quatre morceaux. Cette loupe se compose d'un mélange de fer malléable et d'acier

naturel, dont les proportions relatives paraissent dépendre plutôt de la nature du minerai que des modifications du procédé. Cependant, quand on veut produire de l'acier, on emploie une plus grande quantité de charbon et on donne moins de vent. Les parties aciéreuses offrent souvent la même cassure que les meilleurs aciers suédois; on les trie et on les prépare avec soin en les chauffant dans un feu de charbon au rouge sombre, puis on les coupe en petits morceaux appropriés pour faire des outils tranchants, etc. Quand on a besoin de fer au lieu d'acier, les morceaux de la loupe sont chauffés au blanc soudant et martelés en barres, ce qui leur fait perdre toute apparence d'acier. Quelquefois les fondeurs trouvent dans le fourneau des petites quantités de fonte, qu'ils parviennent à séparer avec beaucoup de peine du reste du fer. Dans ce cas ils considèrent que le fer a souffert en raison de l'élévation de la température du foyer.

Le dernier ou *troisième* système de foyer diffère par certains détails du foyer de la même classe décrit, d'après un manuscrit du major Franklin, par Aikin (1) : nous en donnons une courte description; les dessins à l'appui rendront de plus longs détails inutiles.

« Fig. 1, plan; A, foyer : les parois sont en briques franches enduites d'argile. B, tranchée de 3 pieds de profondeur, avec une entrée en pente, telle que la désigne la flèche. — Fig. 2, vue de face. — Fig. 3, coupe verticale. — Fig. 4, tuyère T, composée de deux tuyaux de terre divergents, enterrés dans une masse d'argile sèche. H, fond du foyer en grès

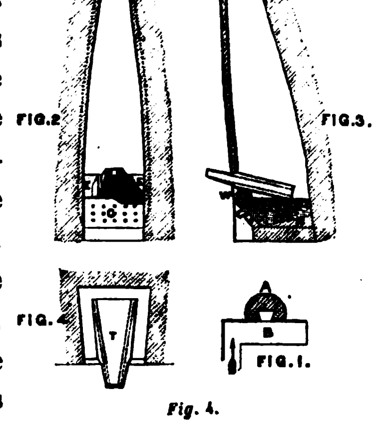


Fig. 4.

(1) *Illustrations of Arts and Manufactures.* By Arthur Aikin. London, p. 289; 1841.

ou en toute autre roche pouvant résister à la fusion ; il est en pente vers la face. C, plaque d'argile percée de trous qui sont ouverts ou bouchés à volonté. W, coin d'argile qui fait plonger plus ou moins la tuyère. E, E, plaques d'argile cuite ou tuiles épaisses qui remplissent sur la face du fourneau l'espace inoccupé par la tuyère. D, masse de bouse de vache et de paille hachée. Il y a par fourneau deux soufflets, fixés sur le devant à une hauteur convenable au-dessus du sol. La tuyère est maintenue en place par une barre verticale, dont le bas s'appuie sur elle, tandis que le haut est engagé dans un anneau de fer consolidé par deux tenons. La hauteur du fourneau varie de 1^m.35 à 2^m.45 et son diamètre, à l'endroit le plus large, de 0^m.30 à 1^m.10. »

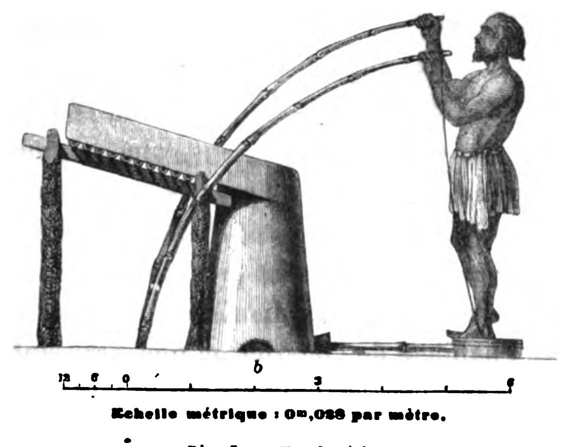
On remarquera que l'arrière du fourneau penche beaucoup en avant ; c'est là, paraît-il, une condition essentielle de sa construction.

Comme exemple du *premier* système de foyer, nous sommes heureux de pouvoir offrir une description des procédés suivis à Orissa, dans le bas Bengale ; elle est due à la plume de notre élève M. H.-F. Blanford, attaché récemment au service de la carte géologique de l'Inde.

« La forme des foyers représentés dans les figures ci-jointes est celle qu'ont adoptée les Méhals, tributaires d'Orissa ; on peut la regarder comme le type, avec quelques légères modifications, des foyers employés généralement dans le Bengale inférieur. Le foyer qui a servi à faire les dessins était en feu pendant notre visite au village de Kunkerai (1), habité exclusivement, comme tous les villages de cette partie du Bengale, par des fondeurs de fer ; il se distingue des autres villages environnants adonnés à l'agriculture par la malpropreté, la pauvreté et la condition dégradée de ses habitants. Les fondeurs d'Orissa forment généralement dans le Bengale

(1) Voir *Mem. Geol. Survey India*, part. I, p. 60, 65, etc.

une classe à part; ils appartiennent aux tribus aborigènes isolées sous différents noms, dans les parties montagneuses de la Péninsule, et que les ethnologistes modernes regardent comme les survivants dégénérés de l'ancienne race tamul. Il existe à Orissa plusieurs de ces tribus qui ont atteint différents degrés de civilisation : les fondeurs de fer du Talcheer et des districts voisins appartiennent aux grandes tribus des Kōls ou Coles. Ils ont jusqu'à un certain point des habitudes nomades; car ils ne restent dans un endroit qu'autant qu'ils y trouvent en abondance du minerai et du bois. A défaut de ces éléments,



Echelle métrique : 0m,028 par mètre.

Fig. 5. — Vue de côté.

ou ce qui arrive souvent, à certains signes que ces communautés superstitieuses regardent comme de mauvais présages, ils se transportent avec leur matériel dans des sites plus propices, où ils travaillent de nouveau. Les grandes pluies et les jungles dissimulent bientôt l'emplacement de ces villages abandonnés; d'énormes tas de scories subsistent seuls pour attester pendant des siècles la vitalité de cet art encore dans l'enfance. On rencontre souvent des amas de scories dans les jungles où de mémoire d'homme il n'a existé aucune usine à fer.

« Dans le foyer que nous allons décrire, les seules parties

essentielles, c'est-à-dire les parties communes à tous les feux d'Orissa, sont un corps cylindrique ou foyer proprement dit et un appareil à soufflets. Nous n'avons remarqué de plateau en terre incliné, avec supports en bois et en bambou, que dans quelques villages. Le foyer est des plus grossiers; il est en sable très-ferrugineux, humecté d'eau et pétri; on le renforce ordinairement par une espèce de carcasse ou par des cerceaux en bois flexible (fig. 7 et 9) sur lesquels la terre est appliquée. Sa forme varie entre celle d'un cylindre, plus ou moins circulaire, et un tronc de cône assez aigu; les parois ont une épaisseur égale (environ 0m.07) ou plutôt elles s'épaississent un peu à la base. Le foyer a généralement près de 0m.90 de hauteur et l'intérieur environ 0m.30 de diamètre; mais les dimensions varient avec l'habileté de l'ouvrier ou plus vraisemblablement

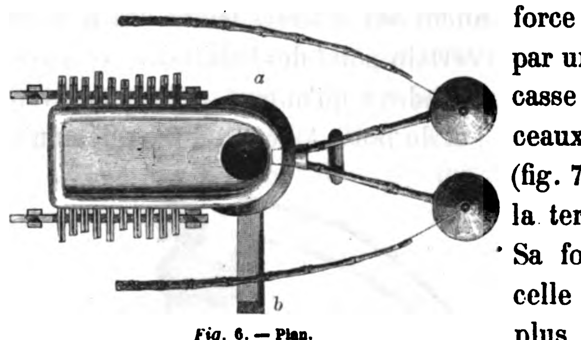
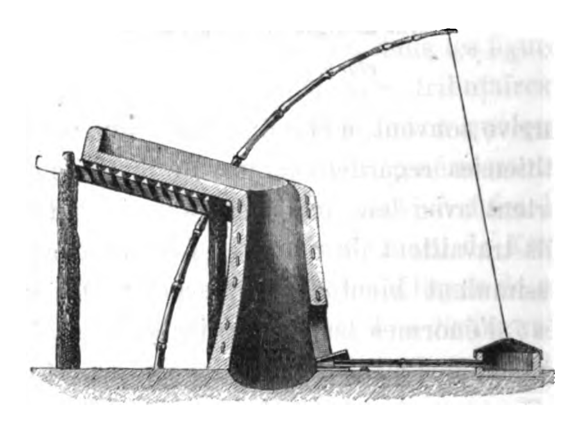


Fig. 6. — Plan.


Fig. 7. — Coupe verticale par le centre et par un des soufflets.

avec la coutume ou le hasard. Deux ouvertures sont ménagées à la base du foyer : l'une sur le devant, d'environ 0m.30 de hau-

teur, un peu moins large que le diamètre intérieur du fourneau, par laquelle on retire la masse de fer spongieux; elle reste lutée, après y avoir introduit la petite tuyère conique, *pendant* la fonte. Cette tuyère est d'habitude faite avec les mêmes matériaux que le foyer, c'est-à-dire avec un sable rouge argileux, pétri à la main sous la forme voulue et desséché au soleil; parfois on n'emploie pour tuyère qu'un cylindre d'argile détrempée, dans laquelle on fait un trou où pénètrent les cannes de bambou communiquant avec le soufflet (1). L'autre ouverture, plus petite, est placée sur l'un des côtés du fourneau, au-dessus du sol; elle établit une communication entre le fond de la chambre du foyer et une petite tranchée dans laquelle la scorie coule à travers une petite pile de charbon (*b*, fig. 5, 6). La sole du foyer est légèrement inclinée vers ce chio afin de permettre à la scorie de couler librement; celle-ci se solidifie au sortir du foyer, sous la forme de gâteaux vésiculaires que les ouvriers retirent avec des pinces.

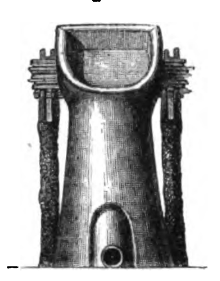


Fig. 8. — Vue de face

« Le plateau incliné à l'arrière du foyer, comme nous l'avons déjà dit, n'est usité que dans certaines localités; il est fait avec les mêmes matériaux et supporté par un lit de bambous qu'étaye un tréteau en bois. La provision de charbon empilée sur le plateau est poussée dans le foyer, au fur et à mesure des besoins.

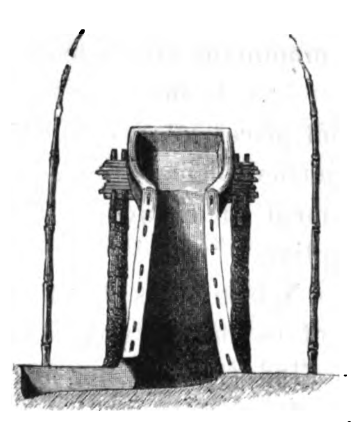


Fig. 9. — Coupe verticale suivant la ligne *a b* du plan.

« L'appareil soufflant d'Orissa est très-ingénieux; c'est

(1) Voir p. 16 du *Report on Coal and Iron of Cuttack.* (Rapport sur la houille et le fer de Cuttack.) Les éléments de ce rapport sont tirés d'un manuscrit de notre frère, à l'exception de quelques points empruntés aux ouvrages publiés antérieurement.

peut-être de tous les soufflets à main celui qui réalise la plus grande économie de main-d'œuvre. On en voit des coupes dans les figures 10 et 11 ; ici gonflé et là comprimé. Il consiste en un tronc circulaire de bois dur, ordinairement du *mango*, grossièrement creusé et recouvert d'un morceau de peau de buffle percé d'un petit trou au centre. Dans ce trou passe une grosse corde au bout de laquelle est fixé un petit morceau de bois qui la retient en dedans du soufflet; l'autre bout est attaché à un bambou recourbé et fiché en terre. Ce bambou fonctionne comme un ressort; il tire la corde et avec elle l'obturateur en cuir du soufflet sur toute la largeur, tandis que l'air entre par le trou du milieu. Une fois rempli, l'ouvrier place son pied sur la peau, ferme le trou avec son talon, et portant tout le poids de son corps sur ce pied, comprime la peau et chasse l'air dans le bambou creux qui communique avec le fourneau; il tire en même temps le bambou avec le bras correspondant. Deux soufflets semblables sont placés côte à côte, et les cannes creuses de bambou débouchent dans la même tuyère; en sautant ainsi alternativement sur chaque soufflet, l'ouvrier obtient un vent presque continu.

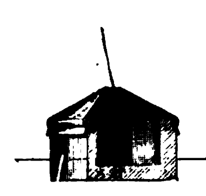


Fig. 10. — Coupe transversale de l'un des soufflets gonflés.

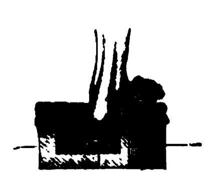


Fig. 11. — Coupe de l'un des soufflets montrant le mouvement du pied pour comprimer.

« Nous n'avons vu cette forme de soufflet qu'à Orissa. Cependant les soufflets varient beaucoup dans les différentes parties de l'Inde (1).

« Les dessins sont enjolivés sous le rapport de la régularité et de la netteté de la construction, mais les dimensions, etc., ont été fidèlement copiées sur l'original. »

(1) Cet appareil a été décrit et dessiné par M. Robert Rose, dans le *Gleanings of science*, n° 34, octobre 1831; Calcutta. Il en avait noté l'emploi dans la fabrication du fer à Aindeab, près de Sambhalpúr.

Les scories contiennent des parcelles arrondies de fer que l'on sépare par le broyage et le lavage; on s'en sert comme de plomb de chasse.

Le docteur Hooker a publié une courte notice sur la fonte du fer dans la vallée de Nonkreem, au milieu des montagnes de Khasia. Il décrit le minerai comme du grès ferrugineux (oxyde magnétique?) disséminé dans un sable grossier, rougeâtre, provenant de la décomposition d'un granit tendre de cette localité. Pour se procurer le minerai, les indigènes amènent des courants d'eau sur les couches de sable granitique, et comme les plus légères parcelles sont entraînées, ils ramassent le surplus dans des auges où s'achève la séparation du minerai qui doit être très-abondant, car, d'après le D[r] Hooker, « le pays est partout sillonné de canaux et de grands réser-« voirs pour le lavage. » « La fonte, ajoute-t-il, s'opère très-grossièrement dans des feux de charbon de bois, alimentés par d'énormes soufflets à double jeu que deux hommes font mouvoir; ils se tiennent sur l'appareil, élèvent les oreilles avec les mains et les étendent avec les pieds.

Le docteur Hooker a donné à l'appui de sa description la gravure (fig. 11 *a*) tirée de son ouvrage. « Il n'y a ni fourneau, ni flux employé pour la réduction. On allume le feu sur le côté d'une pierre droite (comme une pierre tumulaire) percée d'un petit trou près du sol : non loin de ce trou on suspend les soufflets; les tuyaux de bambou se réunissent en dehors de chaque compartiment dans un plus grand tuyau qui dirige l'air dans le feu sous le trou de la pierre. Le minerai est fondu en loupes à surface rugueuse, grosses comme les deux poings; ces loupes sont ensuite partagées en deux pour reconnaître leur pureté (1). »

Si la gravure du D[r] Hooker n'était pas accompagnée d'une description particulière, nous aurions supposé qu'elle repré-

(1) *Himalayan Journals. London*, t. II, p. 310; 1854.

sentait un feu servant uniquement au réchauffage du fer. Des détails sur la construction des soufflets auraient été désirables : tels qu'on les voit dans les gravures, on ne peut

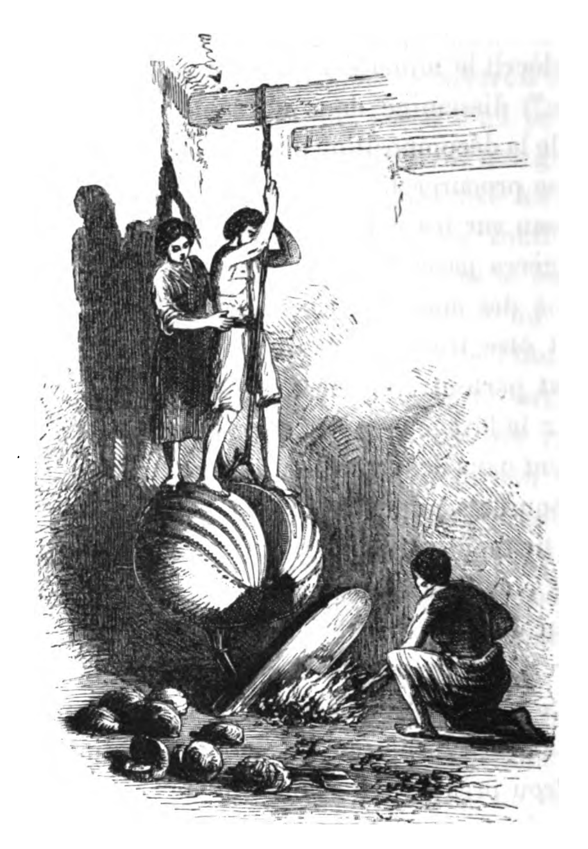


Fig. 11 a.

les faire mouvoir qu'avec les pieds ; car par les attaches qui les lient, il semblerait que l'air est chassé d'un côté par la pression oblique du pied, et que l'autre côté du soufflet s'enfle par la même action. Les deux compartiments pourraient donc se remplir et se vider alternativement, de manière à produire un vent continu. Nous avons trouvé une autre description du traitement du fer dans ce district, avec une gra-

vure très-artistique qui nous fait supposer que les soufflets que le docteur Hooker a dessinés étaient manœuvrés comme nous venons de le suggérer ; le fourneau est évidemment un foyer de fusion et diffère notablement de celui qu'il a décrit. Nous en donnons l'extrait suivant, assez clair et explicite malgré sa brièveté (1).

« Dans de grandes huttes couvertes en gazon d'au moins « sept mètres de hauteur dont le chaume descend jusqu'à « terre, l'intérieur de forme ovale (4m.50 sur 6 mètres pour les « deux diamètres), est divisé en trois chambres ; celle du mi- « lieu sert à la fonte. Deux grands soufflets à double jeu, dont « les buses pointent en bas, sont disposés d'un côté de la « chambre ; sur le haut de ces soufflets se tient un homme « dont les pieds reposent sur chacun d'eux et dont le dos s'ap- « puie contre deux planches. Il tient dans la main droite une « perche suspendue au toit et reliée par deux cordes aux deux « soufflets qu'il fait manœuvrer très-vite, en ployant les reins « et en comprimant fortement avec sa jambe. Les buses du « soufflet se réunissent dans un tuyau qui passe sous terre et « aboutit, au sortir d'une espèce de réservoir, à un foyer situé à « 1m.20 environ de distance. Au-dessus du foyer, se trouve une « cheminée en poterie, cerclée de fer, de 0m.60 de diamètre à la « base, et de 1m.80 environ de hauteur. L'ouverture inférieure « est sur le côté opposé aux soufflets, et la cheminée est in- « clinée en sens contraire, afin d'entraîner l'air chaud loin du « fondeur, vers une ouverture pratiquée dans le toit. A droite « des soufflets et sur la même ligne que la cheminée se trouve « une auge remplie de charbon mouillé et de sable ferrugi- « neux ; à chaque mouvement du corps, l'opérateur fait tomber « dans l'entonnoir du fourneau, à l'aide d'une cuiller à long « manche, du charbon humide avec le sable adhérent. Dès

(1) *Smelting of Iron in the Kasya* (sic) *Hills.—Jour. of the Asiatic Soc. of Bengal*, 1832, t. I, p. 150. (Fonte du fer dans les monts Kasya.) La gravure est de M. J. Prinsep ; le dessin ainsi que la notice sont de M. Cracroft.

« qu'une masse de fer fondu, ou plutôt ramolli, s'est formée « dans le foyer, il l'en retire avec des pinces, pour la battre « ensuite sur une grande dalle, en guise d'enclume, avec un « lourd maillet de bois. On envoie dans la plaine le fer sous « cette forme pour le vendre ou le troquer. » La terre réfractaire dont on se sert se trouve en grandes quantités près d'une colline calcaire du voisinage.

Les soufflets représentés dans la gravure en question paraissent composés de bois, de peau ou de cuir, et ressemblent assez aux soufflets d'Europe.

On pourrait naturellement supposer que ces usines à fer dévorant sans pitié les plantes et les arbres des environs et changeant en affreux déserts de délicieux paysages, auraient été un objet d'horreur pour un botaniste aussi passionné, aussi infatigable que notre ami le Dr Hooker. Loin de là, les métallurgistes seront heureux d'apprendre que le docteur, entraîné par la ferveur scientifique, n'a pas hésité à écrire le passage suivant, à la vue même du magnifique panorama des monts Himalaya:

« On apercevait peu de maisons, mais les colonnes de fumée « serpentant dans la vallée trahissaient leur présence, et le « bruit cadencé des marteaux des forges disséminées de tous « côtés charmait l'oreille comme le son des cloches qui « tintent dans les airs. Chaque battement se mariait harmo- « nieusement avec les autres. La solitude et la beauté du « paysage, les émotions provoquées par les carillons, pro- « curaient un doux repos à notre esprit fatigué par un long « voyage et par l'étude; nous nous reposâmes pendant quelque « temps, laissant notre imagination errer dans les profondeurs « de ce paysage, qui vivifiait nos forces par cette mélodie fami- « lière (1). » Nous laissons à nos lecteurs le soin de décider si c'est à la «suave mélodie» des forges ou aux souvenirs évoqués

(1) Ouvrage cité, t. II, p. 295.

par elle que nous devons les poétiques inspirations du docteur.

Renseignements commerciaux. — Quelques détails authentiques sur le prix de revient et sur les bénéfices du fabricant par ces procédés ne seront pas sans intérêt et exciteront peut-être l'étonnement de nos maîtres de forge.

Dans l'Inde méridionale (1844), les loupes, telles qu'elles sortent des fourneaux, pèsent environ 5 kilogrammes et se vendent quelquefois au prix de 2 annas (30 centimes) chaque. Mais les meilleures loupes ne rendent à la forge que $2^k.75$ de fer, et d'ordinaire pas plus de $1^k.30$. Le prix de revient du forgeage en barres grossières avec les marteaux à mains peut s'évaluer à 40 roupies (95 francs) par tonne; de sorte que les frais du fer en barres sont de 80 roupies (190 francs) par tonne; il y a peu d'années que ce prix était inférieur à celui du fer anglais le moins cher sur le marché de Madras (1).

Pour un foyer d'environ $1^m.20$ de hauteur, il faut quatre hommes : un maître et trois ouvriers; ils ne font que trois loupes de fer dans une journée de douze heures. Le capitaine Campbell constate que, dans des petits fourneaux à vent de la dimension de ceux des Hindous, il a produit, avec deux hommes, 18 kilogrammes de fer brut dans une journée de douze heures, tout en consommant moitié moins de minerai et de charbon que les indigènes (2). Le même écrivain ajoute que le plus mauvais fer indien est aussi bon que le meilleur fer anglais, et il suppose que les défauts du premier sont dus presque toujours à la présence d'une quantité considérable d'acier. Le fer de ses propres fourneaux pouvait se marteler en une tige de $0^m.0025$ sans se gercer et se replier six ou sept fois sur lui-même avant de se rompre. On pouvait le tordre assez longtemps sans le casser, et avec

(1) Le capitaine Campbell, qui donne ces détails, porte plus loin à 90 roupies (215 francs) le prix de la tonne du fer marchand, sous prétexte qu'il n'a pas tenu compte du déchet pendant le forgeage.

(2) Appendice au *Rapport sur le Muséum central du gouvernement à Madras*, p. 14.



1 centimètre d'une barre de 0m.006 d'épaisseur que l'on doublait à *froid*, on pouvait le marteler en plaque, sans apercevoir le moindre écart entre les fibres. Le fer de fabrication indigène est considéré par quelques personnes comme rouverain, c'est-à-dire se criquant sur les angles, lorsqu'on le forge à chaud ; mais, d'après M. Campbell, on trouve bien rarement du fer rouverain (1).

A Arnee, présidence de Madras, le sable ferrugineux sert de minerai ; on en extrait après lavage 33 1/3 pour 100 de fer brut. Le poids du fer, retiré d'une seule fonte, est de 4k.892. A la forge, on retire 33 1/4 pour 100 de fer ; le minerai ne rend donc que 17 pour 100 (2).

Dans le Canara nord, la région la plus septentrionale des perceptions de Madras, le prix moyen du fer brut est de 2 roupies le *maund* (36 kilogrammes), c'est-à-dire 132 francs la tonne. Le produit d'une fonte est d'environ 2 *maunds* 1/2 (103 kilogrammes) par fourneau.

A Malabar, présidence de Madras, on évalue la quantité de fer annuellement fabriquée dans ce district à près de 482 tonnes métriques. Le prix moyen de vente du fer (brut ?) varie entre 12 *annas* et 1 *roupie* 1/2 le *toolam* (12 kilogrammes), soit 150 francs la tonne. Le charbon qui est apporté de 2 à 12 kilomètres revient, rendu au pied des fourneaux, à 1 anna 1/2 par 30 kilogrammes ; c'est la quantité qu'un homme peut faire par jour. Pour obtenir 1 de fer brut, il faut 6 de charbon et 4 de minerai. Le fer brut perd à la forge près de la

(1) Le capitaine Campbell, qui était sous-inspecteur général de l'établissement de Madras, ignore évidemment certaines particularités de la nature des minerais de fer anglais, on peut s'en assurer par le passage suivant de l'un de ses mémoires : « Je ne doute pas que l'on puisse obtenir du fer excellent avec les minerais anglais, *si l'oxyde du fer était séparé de ses impuretés par le lavage.* » *Appendice au Rapport*, etc., déjà cité, p. 26. Les italiques sont de nous.

(2) Capitaine Brooke. *Report on the Government central Museum, Madras, by Edward Balfour, surgeon, Madras army. — On the Iron Ores, the Manufacture of Iron and Steel, and the Coal of the Madras Presidency.* (Rapport sur le Muséum central du gouvernement à Madras. Des minerais de fer, de la fabrication du fer et de l'acier, et de la houille dans la résidence de Madras). Madras, p. 24, 1855. Les détails qui suivent sont empruntés au même ouvrage, à moins qu'il ne soit fait mention du contraire.

moitié de son poids. Le bénéfice du fondeur était estimé à 10 *roupies* ou à 25 francs par tonne (1).

LOCALITÉS.	COUT DU FOYER AVEC HANGAR.		FRAIS DE MAIN-D'ŒUVRE PAR MOIS suivant la dimension du foyer.	
TALOOK.	Roupies.	Francs.	Roupies.	Francs.
Koormenaad.......	5	12,80	de 10 à 30	25,60 à 70,80.
Shernaad...........	6	14,15	20	47,20.
Walloownaaad......	de 17 à 30	40 à 70	de 17 à 52	40,10 à 122,75.
Ernaad.............	de 12 à 15	28,30 à 35,40.	52	122,75.
Temalapooram......	de 24 à 48	56,65 à 113	de 2 1/2 (2) à 28	5,80 à 66,10.

A Salem, présidence de Madras, le coût d'un fourneau varie de 4 annas (60 centimes) à 2 roupies (4 fr. 75 c.); leur contenance en minerai est de 7 à 8 kilogrammes. Cette localité passe pour être le siége principal de la fabrication de l'acier (3).

A Vizagapatam, district maritime, le minerai rend 25 pour 100 de fer brut, et celui-ci 57 pour 100 de fer marchand.

A Coimbatore, Talook de Caroor, Inde méridionale, présidence de Madras, nous trouvons les fourneaux de la construction la plus économique; un foyer de 1m.20 de hauteur et 0m.30 de diamètre ne coûte que 1 anna 6 pices (20 centimes)! Un homme travaillant activement pendant trois jours, peut construire quatre foyers. La main-d'œuvre se répartit entre quatre personnes par fourneau et par mois; on peut l'évaluer à 7 ou 8 roupies (16 fr. 50 à 19 francs) (4).

A Nagpore, Inde méridionale, dans le Deccan, on ne peut travailler aux fourneaux pendant les pluies, étant tous bâtis en plein air, sous les arbres. Le prix de revient d'un

(1) Rapport déjà cité de H. Conolly, percepteur. *Calicut*, 24 juin 1854.

(2) Ce prix paraît minime, mais il est tel.

(3) *J. M. Heath. Appendix to Report on the Iron Ores*, etc. (Appendice au Rapport sur les minerais ferrifères, etc.), déjà cité, 2e partie. Extrait du *Journal of Asiatic Society*, t. V, p. 390.

(4) *E. C. G. Thomas*, percepteur adjoint, *Appendice au Rapport*, etc., déjà cité.

fourneau ne dépasse pas 1 roupie ! Il y a trois hommes par fourneau. La dépense journalière s'élève en minerai à 1/2 anna (0f.075), le charbon à 2 annas (30 centimes), la main-d'œuvre à 3 annas (45 centimes). Total, 5 annas 1/2 (82 centimes). Chaque fourneau produit 1 3/4 de *maund* (63k,50) de fer brut, qui donne, à la forge, 1 *maund* (36 kilogrammes) de fer en barre.

Dans les districts de Kumaon et de Gurhwal, nord de l'Hindoustan, présidence de Bengale, le prix moyen du charbon rendu dans un périmètre de 6 kilomètres de la forêt, est d'environ 3 annas (45 centimes) les 30 *seers* (28 kilogrammes), ou à peu près 17 francs par tonne métrique (1).

Dans le district de Kumaon, 930 *seers* (840 kilogrammes) de minerai produisent 327 1/2 (295 kilogrammes) de fer brut en massiaux, rendant à son tour 81 *seers* 3/4 (73k.50) de fer marchand, soit, pour 100 parties en poids de minerai, 8 4/5 de fer en barre.

930 *seers* (840 kilogrammes) de minerai exigeant 340 *seers* (306 kilogrammes) de charbon pour produire 81 3/4 *seers* (73k.50) de fer ; il faut, pour 1 partie en poids de fer, 8 1/6 parties de charbon (2).

Nous avons recueilli les renseignements les plus récents, sur le prix du fer indigène, dans le rapport déjà cité de M. Howard Blackwell (3), qui mérite toute créance.

Suivant M. Blackwell, la ville de Tendukera, dans la vallée de Nerbudda, est exclusivement occupée à la fabrication du fer. Le minerai consiste en hématite calcaire, qui se trouve envi-

(1) *Report on the Metalliferous Deposits of Kumaon and Gurhwal in North-Western India.* (Rapport sur les gîtes métallifères de Kumaon et de Gurhwal, dans le nord-ouest de l'Inde), par William Jory Henwood. Calcutta, p. 33 ; 1855.

(2) *Selections from the Records of Government. North-Western provinces ; published by authority.* (Extrait des archives du gouvernement, provinces nord-ouest : publié par autorité) ; Agra, 1853. *Partie* 13 ; *mines de fer et de cuivre de la division Kumaon. Rapport de J. O'B. Beckett*, 31 janvier, 1850, p. 67 et suiv

(3) *Report of the Examination of the mineral districts of the Nerbudda Valley.* (Rapport sur les districts minéraux de la vallée de Nerbudda), par *J. H. Blackwell, inspecteur des mines de Bombay*. Bombay, imprimé pour le compte du gouvernement, 1857.

ron à 3 kilomètres au sud de la ville, et à 6 kilomètres au nord de la rivière Nerbudda. Les exploitations s'étendent sur un espace de 400 à 500 mètres de longueur sur 200 de largeur. On extrait le minerai à une profondeur de 9 à 12 mètres; mais il existe aussi en plus ou moins grande quantité à la surface. On fonce des puits chaque année, car ils sont comblés par les pluies, et le mode d'exploitation est aussi grossier et aussi ruineux que possible. On fait venir le charbon des montagnes situées à 8 ou 16 kilomètres nord de la ville; toutes les essences dures ou tendres servent indistinctement; les jungles sont coupés tous les quatre ans. On apporte à dos de buffles le charbon à la ville dans des paniers; on le vend à raison de 1 roupie (2 fr. 36 c.) pour trois charges ou trois charges et demie; ce qui correspond à environ 10 francs la tonne. Il est de belle qualité, et pèse de 5 kilogrammes à $5^k.50$ le boisseau de 43 litres, soit de $11^k.5$ à $12^k.5$ par hectolitre. Soixante-dix à quatre-vingts fourneaux fondent, pendant la belle saison, du fer d'excellente qualité.

Ici, comme partout dans l'Inde, ce fer est divisé en deux catégories, *kachchá* et *pakka;* mais ces termes ont une signification différente dans chaque district. A Tendukera, le fer *kachchá* consiste en petits massiaux de fer marchand produit dans des fourneaux qui ressemblent aux foyers catalans plus qu'à tout autre foyer visité par M. H. Blackwell. On se sert du fer *kachchá* pour les besoins ordinaires, et il est aussi bon que le fer *pakka* du Chandghur. Le fer *pakka* se fabrique dans un foyer de modèle différent; il en sort à l'état d'acier bâtard; on le coupe en morceaux, on le fait réchauffer et on le forge, ce qui lui fait perdre son aspect aciéreux, et on le convertit en un fer de qualité supérieure réservé pour les emplois exigeant du corps et de la résistance. L'acier brut sert aux outils tranchants, aux pointes de pioche, aux pinces à levier, etc.; il est de très-bonne qualité.

A Tendukera, le prix du *kachchá* varie de 78 fr. 75 c. à 90 francs la tonne, celui du *pakka* de 112 fr. 50 c. à 147 fr. 50 c. la tonne. « On peut donc dire, ajoute M. H. Blackwell, que si « l'on fabrique ici le fer par les méthodes les plus rudimen- « taires, sans aucun autre appareil que le soufflet et le mar- « teau des ouvriers, il revient cependant à meilleur marché « qu'en Angleterre, où l'on dispose de toutes sortes d'en- « gins (1). » Il faut toutefois se rappeler que les Hindous ne fabriquent que de très-petites barres.

L'industrie du fer à Tendukera forme un contraste frappant avec celle de Chandghur, où le *kachchá* n'est qu'une masse informe de fer et de scorie, qu'on ne peut utiliser à moins de la faire réchauffer et de la forger; lorsqu'il a été converti en *pakka*, il est vendu au prix de 312 fr. 50 c. la tonne; et malgré ce prix élevé, M. H. Blackwell assure que les fondeurs sont plus mal rétribués que ceux de Tendukera. La quantité de matières entrant dans la fabrication d'une tonne de fer est dans les deux districts :

	MINERAI DE FER.	CHARBON DE BOIS.
	kil.	kil.
Chandghur fer *pakka*	7.617	8.378
Tendukera fer *kachchá*	3.504	3.809
Tendukera fer *pakka*	5.256	5.712

Dans les foyers de Chandghur, on brûle du bois converti en charbon d'après les données qui précèdent; il faut 5 tonnes de bois pour 1 tonne de charbon. La grande différence de prix dans ces deux localités est surtout attribuée à la qualité du minerai; mais aussi en partie à la supériorité des foyers et au mode de fabrication systématique suivi à Tendukera, comparativement à celui de Chandghur. D'ailleurs la première de ces villes jouit des avantages résultant

(1) *Rapport sur les districts minéraux de la vallée Nerbudda*, etc., déjà cité, p. 44.

de la division du travail pour l'extraction du minerai, la carbonisation et la fonte qui constituent des opérations distinctes. Tout le fer est acheté aux fabricants par les Baniens ou marchands dont quelques-uns sont très-riches. Le pays s'approvisionne de fer et d'articles de toutes espèces, dans un rayon qui s'étend parfois jusqu'à 400 kilomètres.

« Quoique la quantité de fer fabriquée à Tendukera, » d'après le même observateur, » soit probablement plus considérable « que celle d'aucune autre ville de l'Inde, elle est insignifiante « auprès des masses que livrent les usines de l'Europe, car elle « ne s'élève, pendant huit ou neuf mois de l'année, qu'à 20 ou « 25 tonnes par semaine : tous les fourneaux chôment pendant « les pluies, en raison des difficultés qu'on éprouve à se pro- « curer du charbon et du minerai. C'est à Tendukera que le « capitaine Franklin fabriqua, il y a trente ans, assez de fer, « par les méthodes indigènes, pour construire un pont sus- « pendu. »

Quant au projet d'établir des usines d'après le système européen dans la vallée de Nerbudda à proximité du minerai, du charbon de bois et de la houille, M. H. Blackwell ajoute en terminant son rapport : « Je ne doute pas que dans « le district en question, où le fret pour les fers anglais est « de 125 à 150 francs par tonne, on ne puisse produire du fer « à meilleur marché que celui qui y est importé. »

Il importe de se rappeler que même à Tendukera il y a beaucoup à faire, quoique la sidérurgie y soit relativement à un état avancé. L'extraction du minerai, nous a-t-on dit, s'opère d'une façon très-grossière et par conséquent très-onéreuse ; il n'est pas douteux que le système de carbonisation n'y soit aussi très-défectueux, s'il ressemble à celui suivi dans l'Inde. Il est donc permis de conclure que dans cette localité on peut obtenir par le procédé indigène du fer qui se vend à meilleur compte que celui mentionné plus haut.

FONTE DU FER DANS LE BIRMAN.

Nous devons la description suivante à notre ancien élève M. W.-T. Blanford, attaché à la carte géologique des Indes :

« On fabrique le fer dans plusieurs localités du haut Birman, « mais la plus grande quantité vient des environs d'une ville « appelée Puppa (qui s'écrit aussi Paopa, Poulepa, etc.); elle « est située à environ 50 kilomètres est de la rivière Irawadi « et au pied d'un volcan éteint, à 19° 50′ N. de latitude et à « environ 95° 20′ E. de longitude. On aperçoit des vestiges de « fourneaux dans la province anglaise de Pegu, près de Prome; « mais j'ignore si l'on y fabrique encore du fer.

« Le procédé diffère de toutes les méthodes indiennes que j'ai « étudiées, en ce qu'il n'y est point fait usage d'aucune espèce « de soufflet. Je n'ai pas vu marcher de fourneau, mais je ne « doute pas que les renseignements fournis par des ouvriers du « Birman ne soient exacts dans les détails essentiels, bien que « je ne puisse pas répondre de leur fidélité quand il s'agit « des quantités. Les croquis et les coupes du fourneau ont été « dessinés par nous-même.

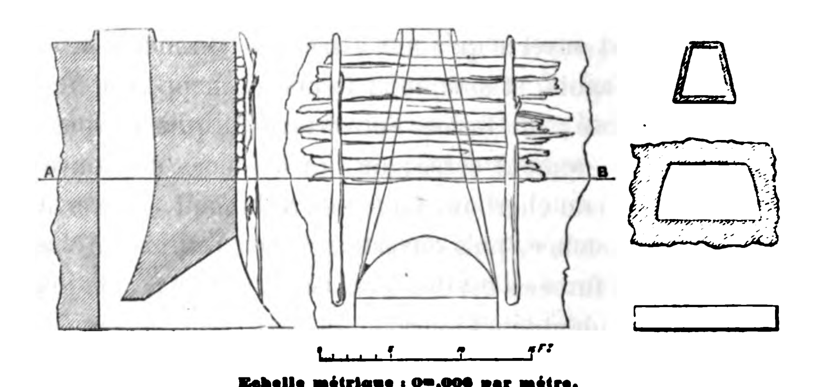
« Le minerai des environs de Puppa est de l'hématite brune, « qui se trouve en masses concrétionnées dans les alluvions dont « une partie du pays est couverte. Ces concrétions consistent « généralement en une croûte extrêmement ferrugineuse, avec « un noyau d'argile sablonneuse; on les casse en morceaux de « la grosseur d'une noisette et le sable s'extrait au crible. Le « combustible est du charbon de bois d'excellente qualité, et « le procédé de carbonisation semble, d'après les rapports des « ouvriers, de beaucoup supérieur à celui des Hindous. Le « rapport suivant vient d'un charbonnier des environs de Pup- « pa; j'ai retrouvé la même méthode en usage près de Thayet- « Myo, dans le Pegu.

«On carbonise principalement pendant les mois de janvier « et de février; la fabrication du fer commence en janvier et « se termine en mai; les ouvriers font à l'avance un approvi- « sionnement de charbon de bois. Pendant l'été et l'automne, « ils s'occupent de travaux agricoles. On a recours à diffé- « rentes essences pour le charbon, surtout au sâl (*shorea ro-* « *busta*). On préfère des tiges de $0^m.25$ à $0^m.30$ de diamètre et « on néglige celles qui n'ont que $0^m.10$ d'épaisseur. Quand le « bois est coupé, on l'empile en tas de 1 mètre carré et de « $1^m.85$ de haut, les faces sont verticales et supportées par des « pieux. On couvre ces meules de terre, en laissant à la base « une ouverture de $0^{mc}.10$ qui traverse d'un bout à l'autre, « mais elle n'est ouverte qu'à une extrémité. On met le feu en « brûlant des fagots, et lorsque la fumée s'échappe librement « du côté opposé, on ferme l'ouverture jusqu'à ce que la « fumée ait entièrement cessé; on l'ouvre alors de nouveau « et on en retire du charbon. Le feu se rallumant, l'ouverture « est encore bouchée, puis ouverte pour en retirer du char- « bon quand la fumée s'est dissipée. Ce travail se répète jour- « nellement pendant vingt jours ou un mois, tant que la meule « continue à brûler.

« Le seul inconvénient de ce procédé réside dans l'em- « ploi de bois vert. Il est étrange de rencontrer une carbo- « nisation aussi parfaite avec un système aussi grossier de « fondage.

« On ne se sert pas de fondant, comme on pourrait s'y « attendre, et j'ai déjà dit qu'on ne recourait à aucune espèce « de vent artificiel; on ne paraît pas s'inquiéter davantage du « choix des localités où l'on pourrait utiliser le vent naturel, en « orientant le fourneau dans la direction des vents régnants, car « j'ai vu des fourneaux rapprochés les uns des autres et tournés « dans plusieurs sens tout à fait différents. Pour adosser le « fourneau on choisit un talus à pic, d'argile sablonneuse, de « 3 mètres à $3^m.60$ de haut; le fourneau lui-même consiste

« simplement en un trou de forme particulière, creusé dans le « talus, à une distance de $0^m.60$ à $0^m.90$ du bord, qui est taillé « verticalement. Trois ou quatre foyers se groupent sou- « vent autour d'une petite fosse ; ils ont environ 3 mètres de « profondeur et une section trapézoïdale irrégulière ; la lar- « geur transversale augmente graduellement, de $0^m.53$ sur la « face, ou de $0^m.30$ à l'arrière jusqu'à $1^m.28$ et $1^m.50$ au fond, « tandis que la largeur de la face à l'arrière est de $0^m.52$ au « sommet, de $0^m.60$ environ à moitié et diminue rapidement « jusqu'à $0^m.30$ au fond. Les croquis et les coupes (fig. 12) « à l'échelle de 1/40 donnent les dimensions d'un fourneau



Echelle métrique : $0^m.006$ par mètre.

Fig. 12. — Fourneau birman.

« que j'ai mesuré. Il y a sans doute quelques différences, « mais la forme générale de tous les fourneaux que j'ai vus « était identique.

« La face du banc d'argile où le fourneau est creusé est sup- « portée par des pièces transversales de bois maintenues par « des montants solides. La partie inférieure du banc est creu- « sée, suivant l'indication des coupes ; une ouverture rectan- « gulaire de $0^m.30$ de hauteur est ménagée sur toute la largeur « du fourneau, à l'extrême base, afin de pouvoir retirer le « laitier et le fer.

« Quand le fourneau est en marche, on ferme cette ouver-

« ture avec de l'argile humide, dans laquelle on introduit une « vingtaine environ de petits tubes ou tuyères d'argile. On fa- « çonne ces tuyères, en plaquant de l'argile molle sur des tiges « de bois arrondis, débitées par longueurs d'environ 0m.10. « Elles ont 0m.02 de diamètre et sont disposées en ligne, à peu « près à mi-hauteur de l'ouverture. On jette du bois allumé « dans le foyer, et par-dessus ce bois deux paniers de charbon « contenant chacun près de 25 *viss* (1) (39 kilogrammes); puis « trois petits paniers de minerai, d'une contenance de 10 *viss* « (15 kilogrammes). La charge se complète par un panier de « charbon, six petits paniers de minerai, un autre panier de « charbon, trois paniers de minerai, et enfin un cinquième « panier de charbon.

« Quand tout est bien allumé et que l'argile, qui bouche l'ou- « verture à la base, est bien desséchée, ce qui prend environ huit « à neuf heures, on râcle le sable qui forme le creuset du four- « neau, de manière à ouvrir sur 0m.10 de haut le fourneau dans « toute sa largeur, afin de faire couler le laitier. On referme « ce trou et on l'ouvre de nouveau toutes les demi-heures, ou « plus souvent si cela est nécessaire, jusqu'à ce qu'il ne coule « plus de scorie. La fonte est complète au bout de vingt-quatre « heures ; on brise alors l'argile du pied du fourneau et on re- « tire le massé qui a la forme du creuset, 1m.20 à 1m.50 de long, « peu d'épaisseur, et qui pèse de 5 à 30 *viss;* le poids moyen « est de 25 viss ou 39 kilogrammes. Le fer est extrêmement « impur, mélangé de scories, de fragments de charbon, de « sable et d'autres matières ; on le vend dans cet état 6 ou « 7 roupies (2) les 100 viss (1 franc à 1 fr. 25 c. les 100 kilo- « grammes); il est de qualité excellente pour la coutellerie, etc.

« Trois hommes font marcher un fourneau. On charge im-

(1) Un viss = 1k.530 à peu près.

(2) Ou plutôt 6 à 7 tirkals d'argent qui valent près d'une roupie chacune. La monnaie n'a généralement pas cours dans le territoire du roi d'Ava ; l'argent à un titre variable sert aux échanges et s'évalue en poids. Le plomb se calcule aussi au poids ; il sert à de petites transactions dans la capitale. (Voir *Yule's Mission to the court of Ava.*)

« médiatement après que le fer de la précédente fonte est « coulé, de sorte que généralement on obtient un massé de fer « par jour. Outre le massé de chaque fonte, on recueille « d'ordinaire quelques petits fragments irréguliers disséminés « avec le laitier. »

FONTE DU FER A BORNÉO.

Les indigènes de cette île luxuriante si remarquable jouissent de la réputation d'ouvriers habiles dans le travail du fer et de l'acier. Ils emploient le procédé direct depuis un temps immémorial, et il n'y a pas chez eux de tradition qui indique le premier inventeur de cette fabrication. La description suivante est empruntée aux *Voyages* de Schwaner (1).

Dans toute la région sud-est de Bornéo, les habitants de *Doeson Oeloe* connaissent seuls l'art de fondre le fer et de le façonner en lames de sabre. Aussi le fer est-il expédié de ce district dans toute la contrée, où il est préféré au fer anglais; l'expérience a prouvé qu'il fournissait des armes plus tranchantes et plus solides que les fers de provenances étrangères. Le minerai argileux est extrait des bancs de lignite qui gîsent dans toutes les parties élevées du district. Les couches minérales sont coupées par la rivière Barito; quand les eaux sont basses, on les aperçoit au fond du lit. Les indigènes profitent de ce moment pour s'approvisioner de minerai plus ou moins altéré par l'action de l'eau; il se rapproche,

(1) *Travels in Borneo, by Dr. C. A. L. M. Schwaner during* 1843-1847, p. 109 (Voyages à Bornéo par le docteur C. A. L. M. Schwaner, de 1843 à 1847), imprimé en hollandais. La description est, sous quelques rapports, assez confuse; elle est accompagnée d'une lithographie coloriée représentant le traitement de la fonte. Le professeur S. Bleekrode, de Delft, rapporte dans un mémoire intéressant sur les scories de fer de la Hollande, que cette planche a été entièrement altérée et gâtée par le lithographe; il a aussi orné son mémoire d'une lithographie coloriée tirée du dessin *original* de Schwaner. Feu M. T.-H. Henry, versé dans la langue hollandaise et qui possédait des connaissances étendues sur toutes les branches de la métallurgie, nous a prêté son concours. Le titre de l'écrit en question est : *De Ijzerslakken in Nederland en de Ijzerbereiding in Vroegeren Tijd, door Prof. S. Bleekrode, Amsterdam* (*circa* 1857).

par sa composition, du minerai brun (*sesquioxyde hydraté de fer*).

Le fourneau est cylindrique, d'environ 1^m.10 de hauteur sur 3 mètres de diamètre extérieur et 0^m.60 d'épaisseur. Il est construit en argile jaune tirée du lit de la rivière, et cerclé avec des bambous.

« Il est carré à l'intérieur, ou en forme de pyramide renversée ; et autant qu'on peut le comprendre, d'après la description très-confuse de l'observateur, le creuset est rectangulaire, large d'environ 0^m.48 sur 0^m.60, et 0^m.23 d'épaisseur. » (Bleekrode.)

Chaque foyer est muni de trois tuyères d'argile de 0^m.28 de longueur, se rétrécissant vers le fourneau de 0^m.06 à 0^m.05. Il existe une ouverture pour faire couler le laitier et une fosse pour le recevoir.

L'appareil soufflant se compose d'un cylindre en bois automoteur, ouvert en haut et fermé en bas ; c'est un tronc d'arbre évidé, de 1^m.65 environ de hauteur et de 0^m.90 de circonférence. Il y a probablement, quoiqu'on n'en fasse pas mention, un clapet s'ouvrant intérieurement sur le côté et au fond du cylindre. Dans les machines soufflantes en usage chez les Chinois, il y a des soupapes en bois de ce genre, et s'adaptant néanmoins très-bien. Le vent sort par le fond du cylindre, dans des bambous de 0^m.75 de longueur qui pénètrent dans les tuyères. Le piston, dont la course mesure 1^m.20 de long, est, comme en Chine bourré de plumes. Un long bambou est fixé horizontalement, ou à peu près, au-dessus de chaque cylindre à l'une des extrémités ; à l'autre est suspendue une longue perche ; et à une petite distance de la première extrémité, la tige du piston, réunie au bambou supérieur, agit comme un ressort et élève le piston. En abaissant la perche suspendue, le piston s'abaisse, de sorte que la machine fonctionne exactement comme une pompe dont le levier serait soulevé par un fort ressort. On rapporte dans une autre

description que les tiges des pistons sont réunies à d'autres tiges d'une longueur considérable, auxquelles sont suspendus des poids qui se contre-balancent sur les poutrelles du toit abritant le fourneau ; c'est exactement l'appareil employé pour extraire l'eau des puits peu profonds (1).

L'argile mélangée d'eau est soigneusement pétrie avec les pieds et les mains et débarrassée des pierres ou de tous autres corps étrangers. On la façonne ensuite dans des moules cylindriques en écorce, de la dimension du fourneau. Un mandrin en bois, fixé à l'intérieur, sert à donner la forme au fourneau que l'on abandonne alors pendant un mois ou plus longtemps, afin qu'il sèche bien. Une fois sec, on enlève le moule et on entoure le fourneau de cerceaux de bambou ; puis on l'échauffe graduellement avant de le mettre en service.

Avant d'être mis en œuvre, le minerai est disposé en couches sur du bois et grillé en tas pendant un jour ; on le casse ensuite en morceaux de la grosseur d'une noix, on le mélange avec dix fois son volume de charbon, et on le charge dans cet état. Lorsque le fourneau est aux deux tiers rempli de charbon et que le vent agit, on ajoute le mélange de minerai et de charbon en quantité suffisante pour former un amas conique au-dessus du gueulard ; le piston bat quarante coups à la minute. On laisse couler la scorie toutes les vingt minutes, et pendant cet écoulement, qui dure cinq minutes, on arrête le vent, et on l'augmente sur la fin de l'opération. Somme toute, on obtient un massiau de fer pesant près de 45 kilogrammes : on le retire du fond du fourneau avec des pinces en bois, et on le transporte sur des dalles saupoudrées de scories divisées, où on lui donne, avec des maillets en bois, presque la forme de parallélipipèdes. Quatre hommes font par jour un massiau dont la valeur commerciale est de 2 florins. Comme il retient

(1) *The Kayans of the North-West of Borneo. By Robert Burns (grandson of the poet). Journal of the Indian archipelago and Eastern Asia.* (Les Kayans du nord-ouest de Bornéo, par Robert Burns (petit-fils du poëte). Journal de l'archipel Indien et de l'Asie orientale. Singapore, t. III, p. 151 ; 1849.

beaucoup de scories, on le partage en dix morceaux, que l'on réchauffe successivement à blanc; ils sont forgés jusqu'à ce qu'ils soient suffisamment purs et propres à faire des lames de sabre; le massiau perd un tiers en poids après ce travail.

D'après cette description, il paraîtrait que la masse ainsi produite est de l'acier naturel, ou du moins qu'elle consiste en un mélange d'acier et de fer malléable. Nous avons omis beaucoup de détails dans la description de Schwaner, les uns, parce qu'ils ne sont pas très-clairs, les autres, parce qu'ils seraient superflus après ce que nous avons déjà exposé des procédés de l'Hindostan, qui ressemblent, sous tous les rapports, à ceux de Bornéo. Nous lisons dans l'article de Burns, auquel nous nous sommes référé (p. 428), que, « pour obtenir du fer fort ou tendre, on se sert de différentes essences de bois; » ce qui signifie probablement qu'on emploie du charbon dense ou léger, selon que l'on désire conserver au fer plus ou moins ses qualités aciéreuses. S'il en est ainsi, cette observation est sans doute vraie, comme on le verra par la suite, dans la description du procédé catalan.

FONTE DU FER EN AFRIQUE.

Les indigènes de l'intérieur de l'Afrique semblent être arrivés à un haut degré d'habileté dans l'extraction et la fabrication du fer par le procédé direct. L'intéressante description qui va suivre, émane du célèbre voyageur Mungo Park qui l'a observé personnellement. Nous la reproduisons sans en rien retrancher :

« Les nègres de la côte, approvisionnés de fer à bon marché
« par les Européens, ne tentent jamais cette fabrication ; mais
« dans l'intérieur, les indigènes fondent ce métal utile en
« quantités telles, que non-seulement ils en façonnent eux-
« mêmes et pour leur usage toutes les armes et tous les in-

« struments nécessaires, mais encore ils en font un article de
« commerce actif avec les États voisins. Pendant mon séjour
« à Kamalia, il y avait un fourneau à fer presque à ma porte ;
« le propriétaire et ses ouvriers ne faisaient aucun secret de
« leur manière d'opérer, et me permettaient d'étudier à loisir
« le fourneau et de les aider à casser le minerai. Le fourneau
« d'argile avait la forme d'une tour circulaire de 3 mètres
« environ de hauteur, et de 0^m.90 de diamètre, entouré, en
« deux endroits, de cercles d'osier, pour que l'argile n'éclatât
« pas et ne tombât pas en morceaux par l'action de la chaleur.
« Autour de la partie inférieure, au niveau du sol (mais pas
« aussi bas que le fond du fourneau, qui était presque concave),
« on avait pratiqué sept ouvertures, dans chacune desquelles
« passaient trois tuyaux d'argile ; ces ouvertures étaient re-
« plâtrées de telle manière que l'air ne pouvait entrer dans le
« fourneau que par les tuyaux dont l'ouverture et la fermeture
« servaient à régler le feu. Ces tuyaux se fabriquaient en gâ-
« chant un mélange compacte d'argile et de gazon autour d'un
« rouleau de bois uni que l'on retirait dès que l'argile com-
« mençait à faire prise ; on laissait les tuyaux sécher au soleil.
« Le minerai que j'ai vu employer était très-lourd, de couleur
« rouge terne, tachetée de gris ; il était cassé en morceaux de
« la dimension d'un œuf de poule. On commençait par mettre
« dans le fourneau un fagot de bois sec, qu'on recouvrait
« d'une quantité considérable de charbon apporté des forêts
« voisines. Sur ce charbon, on étendait une couche de mine-
« rai, puis une autre couche de charbon et ainsi de suite, jus-
« qu'à ce que le fourneau fût plein. On allumait par l'un
« des tuyaux et on soufflait pendant quelque temps avec des
« soufflets en peau de chèvre. L'opération marchait d'abord
« très-lentement, et la flamme ne paraissait au-dessus du
« fourneau qu'au bout de quelques heures ; mais alors la
« masse brûlait avec une grande énergie pendant toute la
« première nuit, et les ouvriers surveillants ajoutaient du

« charbon par intervalles. Le jour suivant, le feu devenu « moins ardent, on retirait quelques tuyaux, ce qui per- « mettait à l'air de pénétrer plus librement dans le fourneau; « mais la température était encore très-élevée, et une flamme « bleuâtre montait à quelques pieds au-dessus du gueulard. « Le troisième jour, à partir de la mise en feu, on enleva « tous les tuyaux; les extrémités de la plupart avaient été « vitrifiées par la chaleur; on ne retira le métal que quelques « jours plus tard, lorsque tout était parfaitement refroidi. Une « partie du fourneau fut alors abattue, et le fer apparut sous « forme d'une masse irrégulière avec des morceaux de char- « bon agglutinés. Il était sonore, et la cassure sur les parties « brisées offrait un grain semblable à celui de l'acier. Le pro- « priétaire m'apprit que bien des parties de ce massiau étaient « inutiles, mais qu'il restait encore assez de bon fer pour com- « penser le déchet. Ce fer, ou plutôt cet acier, est façonné en « instruments divers par des chauffes successives à la forge, « qu'alimentait une paire de doubles soufflets de très-simple « construction, faits de deux peaux de chèvre, et dont les « tuyaux, réunis avant de pénétrer dans le foyer, fournissent « un vent continu et très-régulier. Le marteau, les tenailles « et l'enclume sont de forme très-ordinaire, et la main-d'œu- « vre (surtout pour la fabrication des couteaux et des lances) « ne manque pas de mérite. Le fer est, à la vérité, dur et « fragile et il exige beaucoup de main-d'œuvre avant de se « prêter aux usages économiques (1). »

Nous avons reçu dernièrement de notre ami M. J.-J. Monteiro, qui s'occupe depuis quelques années d'exploitation de mines et de métallurgie sur la côte occidentale d'Afrique, des instruments de fer des fabriques indigènes de l'Afrique qui sont très-remarquables. Le Dr Livingstone mentionne les procédés d'extraction du fer et de sa fabrication en divers

(1) *Travels in the Interior districts of Africa.* (Voyages dans les districts intérieurs de l'Afrique, par Mungo Park, docteur.) *London*, p. 283 et suiv.; 1799.

outils, etc., suivis par les indigènes de différentes régions de l'Afrique; il a offert à la collection métallurgique du Muséum de géologie pratique plusieurs échantillons d'un grand intérêt.

Nous ajouterons ici, incidemment, que ce célèbre voyageur, très-digne de foi, rapporte qu'en 1768 on avait établi, d'après les méthodes européennes, des usines à fer à Angola, au confluent des rivières Luinha et Lucalla. « Près de ce dernier « point, écrit-il, s'élèvent les ruines imposantes d'une fonderie « bâtie en 1768 par ordre du marquis de Pombal. Tous les « bâtiments étaient en pierre maçonnée avec un mortier « d'huile et de chaux. La digue construite avec les mêmes « matériaux pour rassembler les eaux motrices avait 8^m.25 de « hauteur. Elle fut détruite par une inondation, et des blocs « immenses de plusieurs mètres cubes, entraînés au loin par « le courant, offrent un exemple instructif de la puissance ex- « traordinaire des eaux. Rien ne semblait indiquer que cet « endroit fût malsain ; mais huit ouvriers espagnols et suédois « envoyés pour apprendre aux indigènes l'art de la fonte du « fer, tombèrent victimes de la maladie et des *excès;* les efforts « du marquis de Pombal pour améliorer la fabrication du fer « avortèrent ainsi. La main-d'œuvre et la vie matérielle coûtent « cependant si peu, que les travaux peuvent y être exécutés à un « prix qui rend inutiles des établissements dispendieux. Le « gouvernement continue à faire travailler un certain nombre « de mineurs et de forgerons indigènes. Ils traitent un oxydulé « noir magnétique éminemment riche et produisent tous les « mois de 480 à 500 barres de bon fer malléable. Ils vivent « d'une espèce de petit poisson d'eau douce appelé *cacusu,* « livré en partie sous forme d'impôt par les pêcheurs de la « Coanza. Ce poisson est tellement goûté dans la contrée, que « ceux qui ne veulent pas le consommer l'échangent facile- « ment contre de l'argent. Le commandant du district de Mas- « sangano, par exemple, a droit, pour une partie de son trai-

« tement, à une fourniture de trois cents poissons tous les « matins (1). »

Ce singulier mode de payement surprendra assez nos fondeurs et nos forgerons, qui sans doute préféreraient quelque nourriture plus substantielle, même sous le climat torride de l'Afrique.

FONTE DU FER A MADAGASCAR.

On pratique le traitement direct dans cette île, où il a atteint un grand développement. Nous avons puisé nos renseignements dans l'ouvrage du missionnaire le révérend William Ellis, auteur des *Recherches polynésiennes* (2). Le minerai de fer, d'excellente qualité, abonde dans les provinces centrales, aux environs de la capitale; il est si riche, qu'une des montagnes, Ambohimiangavo, qui le renferme, s'appelle la montagne de Fer : il est tellement abondant à la surface, qu'on creuse à peine quelques pieds pour l'extraire. Les indigènes sont habitués à se servir du fer depuis bien des générations (3). Leurs fourneaux de fusion sont toujours situés près d'un cours d'eau; le minerai, extrait en gros morceaux, est réduit en plus petits et débarrassé des matières terreuses par des lavages successifs. Les murs des fourneaux, qui sont d'ordinaire enfoncés de $0^m.60$ à $0^m.90$ dans le sol, sont en pierre et enduits extérieurement d'argile. On allume une petite quantité de combustible au bas du fourneau; on le remplit de minerai stratifié avec du charbon ; puis on bouche le haut avec une épaisse calotte

(1) *Missionary Travels and Researches in south Africa.* (Voyages de missionnaire et recherches dans l'Afrique méridionale, par David Livingstone, etc.) London, p. 402; 1857.

(2) *Three Visits to Madagascar during the years* 1853, 1854, 1856. *By the Rev. William Ellis.* (Trois visites à Madagascar pendant les années 1853, 1854, 1856, par le révérend W. Ellis.) London, John Murray, p. 264; 1858.

(3) Notre ami, M. Crawford, ex-gouverneur de Singapore, nous apprend que le mot *malgache,* pour désigner le fer, est le même que le mot *malais,* et par cette raison surtout il pense que l'art de la fonte du fer à Madagascar est d'origine malaise. Cet art, ajoute-t-il encore, est généralement connu et pratiqué dans toute l'étendue de l'archipel Indien.

d'argile. Le vent est fourni par deux paires de soufflets, dont les pistons fonctionnent dans des cylindres de bois formés de troncs d'arbres évidés. Du fond de chaque cylindre, un tube de bambou ou un vieux canon de fusil s'adapte dans un trou percé dans le fourneau à ras du sol, à travers les pierres. Après avoir entretenu quelque temps le fourneau à une température élevée, blanche, on le laisse refroidir, et quand on découvre l'appareil, on trouve au fond le fer converti en masses. Sous cette forme, ou bien lorsqu'il a été réchauffé et forgé en barres rondes ou plates, on le porte au marché ou dans les magasins du gouvernement.

L'atelier d'un forgeron indigène est très-simple. Le sol en terre de sa maison constitue le *foyer* de la forge, emprisonné entre trois ou quatre grosses pierres. Le soufflet consiste en deux cylindres de bois avec pistons, pareils à ceux qui fournissent le vent au fourneau. L'enclume, d'environ 0^{m}.35 sur 0^{m}.15 de hauteur, se fixe sur un bloc de bois enterré dans le sol ; auprès se trouvent l'auge, les pinces, les marteaux et les autres outils. Le forgeron s'accroupit sur une planche posée à terre, et ses aides se tiennent debout ou assis du côté opposé, les marteaux à la main, prêts à frapper quand il est nécessaire.

M. Ellis a orné sa description d'une gravure qui, sans avoir grand intérêt pour le métallurgiste, donne cependant une idée assez exacte d'une forge madécasse.

Procédé catalan.

Ce procédé tire son nom de la Catalogne, province du nord de l'Espagne, où il fut probablement introduit pour la première fois dans l'Europe occidentale. Il a été, jusqu'à ces derniers temps, en grande faveur dans le midi de la France, surtout dans le département de l'Ariége, séparé de la Catalo-

gne par les Pyrénées. Un établissement, comprenant un *foyer* et les accessoires nécessaires, est désigné sous le nom de *forge catalane*. On a des publications nombreuses sur ce sujet; mais nous avons surtout puisé nos renseignements dans les traités spéciaux de Richard et de M. François (1). Nous profiterons des travaux de ces auteurs, en n'hésitant pas à citer des passages entiers ou des paragraphes tirés de leurs ouvrages. Une forge catalane, comparée à une usine à fer moderne, n'est qu'un établissement insignifiant. En 1845, nous étions à Cierp, dans les Pyrénées, et en suivant le versant de la vallée qui mène à Bagnères-de-Luchon, nous marchions à côté de la forge de Guran, située à peu de distance, sans nous douter d'abord de son existence, quoique occupé de sa recherche.

Une forge catalane se compose essentiellement d'un foyer ouvert, d'une soufflerie et d'un lourd marteau; si l'on emploie, pour donner le vent, l'appareil appelé *trompe*, la forge doit s'établir dans une localité pourvue d'une chute d'eau de 3^{m}.30 à 3^{m}.65 au moins. L'hématite brune, pas trop compacte, est le minerai ordinairement préféré; cependant on traite aussi les minerais spathiques et les hématites compactes brunes ou rouges. Le combustible est invariablement le charbon de bois. Le choix de la position est déterminé d'après les circonstances locales; la plupart des vallées des Pyrénées sont convenables sous tous les rapports. Si l'on ne peut disposer d'une chute d'eau d'une hauteur considérable, la trompe est remplacée par un autre appareil soufflant.

Des documents historiques prouvent que le procédé direct d'extraction du fer était pratiqué dès 1293 dans les Pyrénées françaises, où depuis il a toujours fonctionné. Mais il est probable qu'il existait dans ces localités bien

(1) *Etudes sur l'art d'extraire immédiatement le fer de ses minerais sans convertir le métal en fonte*, par T. Richard, in-4°, p. 370, avec un atlas in-folio de neuf planches lithographiées, Paris, 1838. *Recherches sur le gisement et le traitement direct des minerais de fer dans les Pyrénées et particulièrement dans l'Ariége*, par M. Jules François, in-4°, p. 404, avec atlas de dix planches. Paris, 1843.

longtemps avant cette époque. A l'origine, il paraît avoir été établi sur une très-petite échelle, dans le genre des installations actuelles des Hindous. Un creuset fut mis à découvert, en 1823, dans une forêt de sapins de Bielsa (Haut Aragon). Ce creuset était circulaire ; il avait 0m.65 de hauteur ; il était cylindrique sur 0m.30, puis se terminait en tronc de cône renversé ; son diamètre était de 0m.36 au bas, et de 0m.48 à la partie supérieure. Il avait deux siéges de tuyères à 0m.30 du fond (*). Près du creuset, on remarquait des scories du fond du feu et deux massés de fer qui paraissaient être des massés bruts et qui pesaient de 14 à 16 kilogrammes. La tradition rapporte que ces feux étaient alimentés par des soufflets en peau. Sur les versants des vallées des Pyrénées, même vers la haute chaîne, loin de tout cours d'eau, ou remarque des amas de scories qui y accusent la présence d'anciennes forges à bras (1).

Le creuset déjà en usage au dix-septième siècle dans les provinces espagnoles de la Navarre et du Guipuscoa, ainsi que sur la frontière française, au bord de la Bidassoa, consistait en une petite cavité ovale, plus large en haut qu'en bas, de manière à présenter la forme d'un tronc de cône aplati et renversé. Il n'y avait qu'une tuyère débordant à l'intérieur et à l'extérieur, au-dessus et au milieu de l'une des longues faces de l'ovale. Le creuset était en maçonnerie revêtue de bandes de fer et fixée dans une cuve en cuivre qui le garantissait de l'humidité. M. François et d'autres observateurs considèrent cette forme comme le passage graduel du fourneau catalan primitif à celui de nos jours (2).

(*) Nous avons découvert un foyer semblable dans la chaîne des Albères (Pyrénées-Orientales), à 2 kilomètres environ du village de Laroque, au milieu de scories amoncelées près d'un petit ruisseau qui va se jeter dans le Massanne, affluent du Tech. (*Les Traducteurs.*)

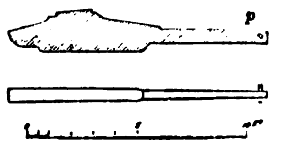
(1) François, p. 317.
(2) François, p. 317.

« Dès le milieu du dix-septième siècle, dans l'Ariége, les feux s'aplatirent et se rapprochèrent de la forme rectangulaire; ils furent d'ailleurs plus évasés à la partie supérieure, afin d'augmenter le chargement en minerai, et pendant longtemps la partie inférieure ou la zone de fusion resta circulaire. Les restes de feux et de massés mis à découvert il y a quelques années dans la haute vallée de Suc (Pyrénées françaises) indiquent qu'au commencement du dix-huitième siècle les feux présentaient sensiblement la forme que l'on retrouve dans la vallée de Tech (Vallespir, Pyrénées-Orientales). Ils étaient quadrangulaires et s'arrondissaient aux angles, ils avaient $0^m.43$ de largeur, $0^m.49$ de profondeur, et $0^m.52$ de hauteur. Chaque opération durait de quatre à cinq heures, et donnait de 60 à 80 kilogrammes de fer forgé. Pendant longtemps la tuyère resta de $0^m.23$ à $0^m.32$ au-dessus du fond; elle agissait sous une inclinaison de 35 à 40 degrés, quand (1771 à 1786) M. Vergnies la fixa à $0^m.52$, sous une inclinaison de 35 degrés. Par cette modification importante, il éleva le rendement par foyer de 120 à 150 kilogrammes de fer forgé (1). » Ces faits sont très-instructifs, parce qu'ils démontrent à quels résultats importants dans la pratique peuvent conduire de légères modifications. En poursuivant l'histoire de la métallurgie du fer, nous trouverons encore des exemples plus frappants de cette vérité. On peut hardiment affirmer que quelquefois une innovation de l'espèce la plus ordinaire a réagi sur les destinées de la race humaine ; nous faisons ici allusion à l'emploi de *l'air chaud*, dont nous exposerons plus loin et avec détails la merveilleuse influence. La morale que les métallurgistes peuvent tirer de faits de cette nature, est qu'ils ne doivent jamais dédaigner les innovations, sous prétexte que tout d'abord elles semblent avoir peu d'importance.

Dans les premiers foyers, le vent était injecté par deux souf-

(1) *Ouvr. cité*, p. 319.

flets à jeu alternatif; ce ne fut, suivant M. François, qu'à la fin du dix-septième siècle qu'on employa pour la première fois, dans les Pyrénées, la *trompe*. Le marteau était léger, manœuvré à bras, et construit d'après le même principe que celui de la figure 13, représentant un vieux marteau biscayen, encore en bon état de conservation. Ce dernier était en fer et n'agissait que par son poids; il oscillait autour d'un axe *p*, et la hauteur de chute était obtenue en soulevant le front *h*. Un marteau de ce genre pesait de 1 200 à 1 600 kilogrammes.



Echelle métrique : 0m.008 par mètre.

Fig. 13 — Ancien marteau biscayen.

Composition du minerai. — Tout le minerai traité dans les forges de l'Ariége est extrait des mines du mont Rancié, qui forme une partie du versant oriental de la petite vallée de Sem, à 2 kilomètres environ de Vicdessos. Le minerai se rencontre dans des calcaires de transition reposant sur le granit. Ces mines sont très-anciennes. Voici les analyses des minerais traités avec avantage, dans les Pyrénées, par le procédé catalan :

	1.		2.	3.
Sesquioxyde de fer.	62.474		65.50	64.00
Peroxyde de manganèse.	6.213		3.00	6.20
Chaux..	2.790		5.00	3.50
Magnésie.	0.545		0.45	0.80
Alumine..	1.014		1.30	1.20
Silice.	14.715		11.40	10.50
Eau.	12.112	Perte par la calcination.	13.20	14.50
Perte.	0.137			
	100.000		99.85	100.70
Richesse en fer pour 100.	43.752		45.87	44.82

N° 1. Analyse de Richard (1). Composition moyenne d'un chargement normal de 487 kilogrammes de minerai en morceaux gros et petits (*greillade*), pendant les années 1833, 1834,

(1) Ouvrage cité, p. 107.

1835. N°s 2, 3. Analyses de M. François (1). N° 2. Composition moyenne, d'après deux analyses, de mélanges de minerais pris, en 1841, dans les forges de Vicdessos, de Niaux, de Lacour et Mas-d'Azil. N° 3, *id.*, en 1842. Selon cet ingénieur, ces variétés de minerais rendirent dans quelques établissements, jusqu'à 32.78 pour 100, et furent déclarés bons, quoique la perte en fer ne s'élevât pas à moins de 12 à 15 pour 100. En examinant les analyses précédentes, on verra qu'il y doit y avoir une grande quantité de silice à l'état libre.

Les oxydes hydratés, pulvérulents, poreux ou peu compactes, peuvent être chargés directement dans le creuset; mais les minerais spathiques, ou ceux contenant beaucoup de carbonate de chaux; et les hématites brunes, riches et compactes, exigent un traitement préparatoire. Pour les oxydes hydratés ou les variétés légèrement calcaires, une simple calcination suffit; mais les oxydes siliceux et anhydres doivent être calcinés au rouge, étonnés par l'extinction dans l'eau et abandonnés à une exposition prolongée à l'air. M. François prétend que, par ces opérations, les minerais s'hydratent lentement et à un haut degré, surtout si elles sont répétées deux ou trois fois (*).

La calcination se fait dans des fours en moellons de granit ou de calcaire et quelquefois en briques, carrés, circulaires, ou ovales, de 1m.70 à 2m.30 de hauteur, et de 2 mètres à 2m.50 de diamètre en œuvre. On enfourne de 300 à 400 quintaux métriques de minerai; on charge par couches et alternant avec la mine 6 stères de bois *sec* et 7.50 de bois *vert*. Dans le premier cas, la calcination durera deux jours, et trois dans le second (2). La température du four doit être réglée avec soin pour empêcher la *coagulation*, c'est-à-dire le commence-

(*) Ce qui est fort rare dans les Pyrénées et ne se pratique que accidentellement. (*Les Traducteurs.*)

(1) Ouvrage cité, p. 158.
(2) Ouvrage cité, p. 258.

ment de fusion du minerai, sans quoi on manquerait entièrement le but de cette opération, qui est de désagréger le minerai pour que les gaz produits dans le creuset puissent l'attaquer.

M. François constate qu'il a obtenu d'excellents résultats d'un minerai pyritifère, en le soumettant à un léger grillage répété deux ou trois fois, et suivi de l'exposition à l'air et à l'eau (1). Le sulfure passe ainsi en grande partie à l'état de sulfate de fer.

Selon Richard, le traitement par la méthode directe convient de préférence à tout minerai contenant 50 pour 100 environ de fer, exempt de matières nuisibles, se présentant sous un état assez compacte pour être extraît en gros morceaux, et d'une nature poreuse ou pouvant l'acquérir par le grillage. Mais de tous les minerais il n'en est pas de meilleur dans ce procédé que l'hématite brune compacte, qui perd, par la chaleur, l'eau qu'elle renferme et se désagrége plus ou moins.

Creuset. — Le *creuset*, *feu* ou *foyer*, consiste simplement en une cavité formée par quatre faces. Il est renfermé dans une halle, sur un des murs de laquelle il s'appuie toujours, et dont il est seulement séparé par un petit mur *v*, fig. 14, nommé *piech d'el foc*. Ses dimensions ont varié, dans différentes forges, souvent dans les mêmes à diverses époques ; car, malgré l'insistance des directeurs d'usines pour s'astreindre à des proportions déterminées, on le construit en réalité suivant l'idée du forgeron, et souvent il s'écarte beaucoup des dimensions prescrites (2). Nous désignerons chacune des quatre faces par les nos 1, 2, 3, 4, en partant de la gauche. Le n° 1 est la face d'avant, LL, fig. 13 *a*, la *main*, le *latairol* ou la face de *chio ;* le n° 2, P, sur le côté gauche, par laquelle le vent est donné,

(1) Ouvrage cité, p. 256.
(2) Richard, p. 230.

s'appelle les *porges;* le n° 3, à l'arrière, C,C, est la *cave*, et le n° 4, à droite, O, est l'*ore* ou le *contrevent.*

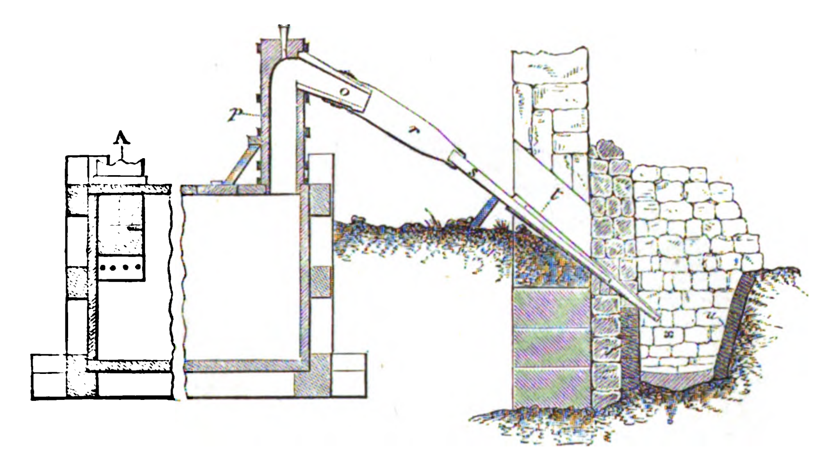


Fig. 14. — Trompe et foyer; coupe verticale en long.

FACE n° 1. Le latairol est vertical et généralement formé de deux fortes pièces en fer de 0m.07 à 0m.08 d'épaisseur, et 0m.15 à 0m.20 de largeur; elles s'enfoncent de 0m.20 à 0m.25 au-dessous du fond du feu, et s'élèvent au-dessus de près de 0m.52. L'espace de 0m.06 de largeur (1) compris entre elles est occupé par une pièce également en fer, le *restanque.* Cette

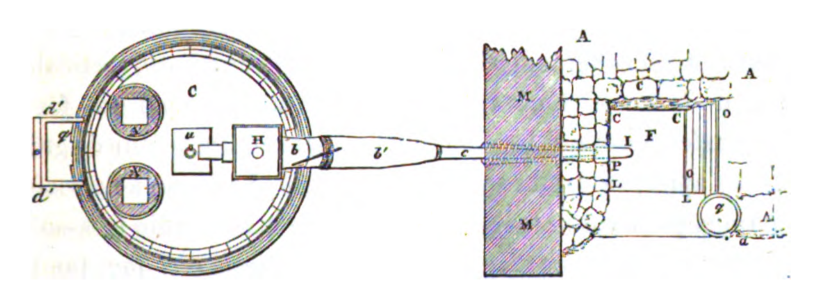


Fig. 14 *a.* — Tine et foyer; plan.

dernière ne pénètre pas dans le sol aussi profondément que les deux autres; elle l'arrase seulement de quelques centimètres et

(1) M. François donne 0m.19 comme largeur de l'intervalle. Les autres dimensions ne s'accordent pas tout à fait avec celles indiquées par Richard.

elle sert de point d'appui aux leviers pour soulever la loupe et la détacher de la pierre de fond. Tout le reste de l'intervalle est garni de terre à fourneau, d'argile ou de tout autre mélange convenable. A la partie inférieure sont ménagées des ouvertures,



Fig. 15. — Vue d'un foyer; sortie du *massé*. Dessiné par Justyne, d'après un croquis de Richard.

trous de *chio*, pour l'écoulement des scories, comme l'indique la figure 15. Les têtes des *latairoles* ou des deux pièces verticales en fer de la face n° 1, sont reliées horizontalement par une forte pièce en fer, nommée la *plie*, qui s'implante dans le mur de gauche et s'appuie à droite sur le mur opposé. Soumise à de fortes réactions pendant le travail, celle-ci doit être établie très-solidement ; elle pénètre, à gauche, dans le *piech d'el foc*, tandis que l'autre extrémité est maintenue par une vieille tête de marteau (voir fig. 15) ou une lourde pierre, *q*, ronde, cerclée de fer, fig. 20. En dehors de la *plie*, on établit, au moyen de deux ou trois larges bandes de fer, une *banquette* inclinée vers l'intérieur du creuset, sous un angle de 10 degrés au plus ; la longueur totale de l'avant à l'arrière est généralement de $0^m.40$

environ. Cette banquette a 1m.15 à peu près de largeur, à l'extérieur, et 0m.805 à l'intérieur du feu. L'espace entre les *latairoles*, le *restanque* et la *plie* est garni d'argile où l'on peut pratiquer des ouvertures pour écouler les scories.

Face n° 2. Elle se compose, *au-dessous* de la tuyère, de pièces rectangulaires en fer, également appelées *porges*, placées de champ les unes sur les autres, de manière à former une face verticale, et au-dessus de la tuyère un ouvrage grossier en pierre, nommé *parédou* (fig. 14). La section de ces pièces est de 0m.12 à 0m.15 de côté. La tuyère repose sur la plaque supérieure en fer et traverse une petite voûte ménagée dans le *piech d'el foc*, à 0m.50 environ du fond du n° 2 (*les porges*).

Face n° 3. Elle est entièrement construite en maçonnerie reliée par de l'argile, et diffère, sous ce rapport, des trois autres faces. Elle n'est pas verticale comme le n° 1, mais toujours inclinée vers l'arrière, d'à peu près 9 degrés, depuis sa base jusqu'au sommet du n° 4, où elle devient verticale. Sa base est sensiblement parallèle à celle du n° 1, et à cet endroit la distance entre les deux côtés est de 0m.60. Sa hauteur totale varie de 1m.50 à 2 mètres. Sous l'influence du travail, cette face se creuse plus ou moins ; et, suivant quelques praticiens, on devrait l'établir en matériaux qui puissent donner au feu la facilité de s'étendre, suivant la marche du vent (1).

Face n° 4. Elle se compose de plusieurs fortes pièces en fer, dont les extrémités reposent sur la maçonnerie : celles qui occupent la partie supérieure peuvent être en fonte. Sa surface est courbée et fortement renversée vers le dehors, surtout au sommet. A sa base, elle est sensiblement parallèle à la face n° 2. La distance du fond du n° 2 à celui du n° 4 est de 0m.61. Le fond du feu est presque un rectangle, dont les côtés nos 2 et 4 surmontent toujours les deux autres de quelques centimètres.

(1) Ouvrage cité, p. 284.

Le creuset ne doit pas être exactement d'équerre avec le mur MM, fig. 20, mais s'incliner légèrement vers la droite, de sorte que, à leur partie inférieure, l'extrémité du côté n° 1 s'avance de 0m.03, et l'extrémité du n° 2, au point où il s'assemble avec le n° 3, est portée en avant de la même quantité vers la droite. Les extrémités des pièces en fer, qui forment les trois faces du creuset, pénètrent plus ou moins profondément dans les côtés avec lesquels elles sont respectivement en contact; elles donnent ainsi de la solidité à toute la construction.

Le fond du creuset est formé par une pierre réfractaire en granit, gneiss, micaschiste, grès ou même pierre à chaux. Il ne doit pas être trop grand, pour permettre de retirer cette pierre et de la remplacer par une neuve. Sa surface supérieure doit être plate ou plutôt légèrement concave. Ces pierres durent de trois à six mois, et quelquefois plus longtemps; cela dépend de l'habileté du forgeron.

Le massif doit être établi sur une fondation solide et sèche, et être garanti contre les inondations torrentielles qui se déclarent dans les vallées montagneuses. La pierre du fond repose sur un lit de scories pilées et d'argile brasquée de 0m.40 à 0m.58 d'épaisseur; en dessous se trouve encore une grande pierre, généralement une vieille meule de moulin.

Aucun de ces feux n'est pourvu de cheminée; mais un trou de 4 ou 5 mètres carrés, ménagé dans le toit, sert pour l'échappement des gaz produits par la combustion.

Tuyère. — C'est un tube en cuivre rouge, conique et un peu aplati, de 0m.48 de longueur, formé par une feuille simplement pliée en rapprochant les bords sans les souder ensemble. Au bout le plus large et sur la surface supérieure, les bords de la plaque sont très-écartés l'un de l'autre et se rapprochent graduellement jusqu'à se toucher à 0m.75 de cette extrémité; à ce point, la section du tube est une petite ellipse dont les axes ont 0m.10 et 0m.08. A la plus grande ouverture, le petit diamètre vertical a 0m.13, et le long diamètre transversal mesure

0^m.23. L'épaisseur de la plaque de cuivre qui forme la tuyère est d'environ 0^m.002 à cette extrémité, et croît jusqu'à 0^m.008 ou 0^m.013 vers le sommet du tronc de cône. L'*œil* de la tuyère est légèrement entaillé pour former une lèvre supérieure dépassant l'inférieure de 0^m.01 à 0^m.02 ; sa section est un petit rectangle irrégulier, dont le grand côté est horizontal et représente une longueur de 0^m.042, tandis que l'autre n'a que 0^m.033. Mais il faut remarquer que les dimensions et la forme de l'œil sont sujettes à de grandes variations dans le cours du travail. L'angle d'inclinaison du grand axe de la tuyère est de près de 40°. La saillie dans le creuset, mesurée de la lèvre supérieure au mur sur la face n° 2, est de 0^m.225 : l'emploi du charbon de bois *fort* exige une saillie plus prononcée que le charbon de bois *léger* (1). La direction de la tuyère incline toujours plus ou moins vers la face n° 3. Un plan vertical passant par son axe ne divise pas le fond du feu en deux parties égales, mais est invariablement plus porté vers la *cave* que vers le *latairol*.

L'écartement entre le nez de la buse et l'œil de la tuyère varie entre 0^m.30 et 0^m.53. Si la buse ne pénètre pas assez profondément, cette dernière n'est plus suffisamment rafraîchie et se fond, surtout lorsque le vent est faible.

Une quantité considérable d'air (souvent avec la vitesse de 2 mètres par seconde) peut pénétrer dans le creuset par le vide, entre la tuyère et la buse, entraîné par le courant que celle-ci détermine.

Trompe. — A une ou deux exceptions près, c'était le seul système de soufflerie employé dans les forges catalanes des Pyrénées (2). Elle fut, dit-on, inventée en Italie vers 1640. C'est une disposition simple, ingénieuse et efficace pour obtenir un courant d'air égal et continu ; mais son usage est res-

(1) François, p. 286.
(2) Richard, p. 160.

treint aux localités où l'on peut disposer d'une chute d'eau de plusieurs mètres de hauteur.

Elle se compose d'un robuste bassin en bois (*paicherou*), d'une contenance de 10 mètres cubes d'eau environ, B, fig. 16, 17 ; d'une caisse inférieure en bois ou *caisse à vent* C ; et généralement de deux conduits verticaux ou *arbres* AA, reliant B et C ensemble.

Les arbres AA sont étranglés à leur orifice supérieur par deux planches en bois *b* (*étranguillons*), maintenues par des tringles transversales également en bois *c*, et à l'extérieur par des coins, fig. 16. On forme ainsi un étranglement étroit et rectangulaire au sommet de chacun des arbres ; immédiatement au-dessous de cet orifice, les parois sont percées de deux autres trous rectangulaires, placés vis-à-vis l'un de l'autre, ou *aspirateurs ee*, qui s'abaissent vers l'intérieur sous une inclinaison de 40 ou 50 degrés.

La *caisse à vent* en bois, C, affecte une forme trapézoïdale ; les arbres pénètrent dans ce réservoir du côté de la paroi la plus large, et du côté opposé se dresse verticalement un conduit quadrangulaire *p* (*l'homme*). Sur ce dernier s'attache le porte-vent *o* (*burle*), fixé lui-même par un conduit en peau de mouton *r* (*le bourec*) sur la buse *s* (*canon de bourec*), généralement en fer et quelquefois en cuivre rouge. On enroule autour des joints une ficelle que l'on serre fortement au moyen d'un petit levier en bois, fig. 20. Derrière l'homme *p*, se trouve une ouverture pour permettre à un ouvrier de pénétrer dans l'intérieur et de faire les réparations : elle est fermée par un couvercle maintenu par une contrefiche appuyée sur le conduit *p*. Une autre ouverture *w* est pratiquée au bas de l'une des parois pour la sortie de l'eau ; les charpentiers qui construisent la trompe éprouvent de grandes difficultés à régler la section de cet orifice, de manière à ne laisser écouler que la quantité d'eau nécessaire. Mais, comme Richard le fait remarquer, cette difficulté peut être surmontée en ajustant sur cette ouverture

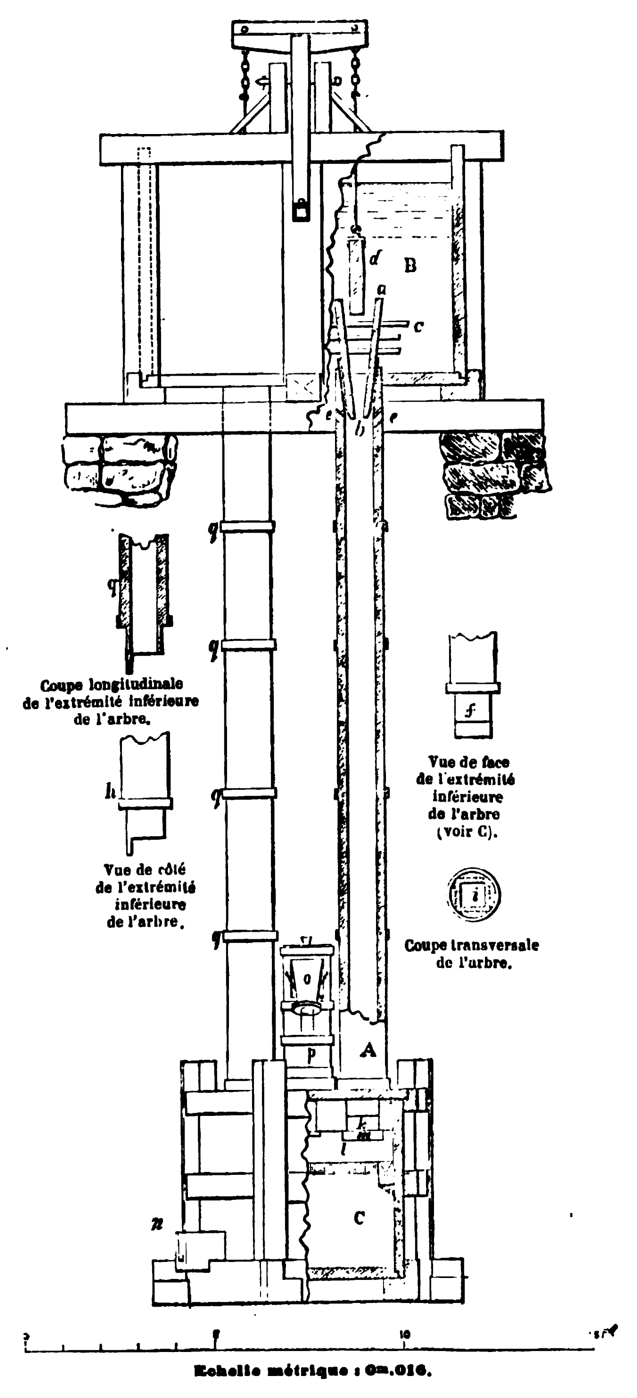


Fig. 16. — Trompe. Élévation ; d'après les planches de Richard, représentant la trompe de Montgaillard (Ariége). La moitié à droite est vue en coupe.

une porte à coulisse. Immédiatement en dessous des arbres, une forte traverse en bois *l* (*banquette*) s'étend d'une paroi à l'autre. Une pierre plate ou une plaque de fonte *m* est encastrée dans sa face supérieure, afin de protéger le bois contre les dégradations résultant du choc, au travers des arbres, de l'eau qui tombe directement d'une grande hauteur.

Fonctionnement de la trompe. — En levant les coins *d*, l'eau se précipite le long des arbres A A, et l'air est immédiatement appelé par les trous aspirateurs *ee;* de manière que la caisse à air se trouve pourvue d'un courant continu et mélangé d'eau et d'air. L'eau s'échappe en dessous par l'ouverture latérale *n*, et l'air au-dessus, par le conduit *p*. Il faut évidemment que C contienne toujours une nappe d'eau assez profonde pour obstruer l'ouverture *n*, car autrement l'air s'en échapperait aussi bien que l'eau. La figure 19 montre clairement comment on peut réaliser cette condition d'après le même principe que celui des fontaines de volières. La séparation de l'eau d'avec l'air est en partie causée par la banquette *l*. Il y a lieu de croire qu'un très-grand volume d'air s'échappe parfois avec l'eau (1).

Détails spéciaux de construction. — Les arbres A A sont faits ainsi qu'il suit : on scie longitudinalement en deux parties égales un tronc droit, et l'on en évide les faces plates. On réunit alors les deux moitiés dans leur position primitive, et on les serre étroitement avec des anneaux de fer bien calés (*q*, *q*, *q*, *q*, fig. 16). La coupe transversale du creux de ces arbres est généralement carrée, $0^m.189$ de côté, quand la chute est très-haute, comme à Montgaillard, mais elle est de $0^m.216$ de côté lorsque la chute est faible. Quelques trompes ont des arbres évidés en cylindre.

Les aspirateurs *ee* ont $0^m.08$ de largeur sur $0^m.05$ d'épaisseur. Dans les arbres de la trompe représentée fig. 16, il y avait d'autres aspirateurs de $2^m.10$ au-dessous des autres, avec

(1) Richard, p. 223.

une section carrée de $0^m.04$; l'eau y était souvent refoulée et

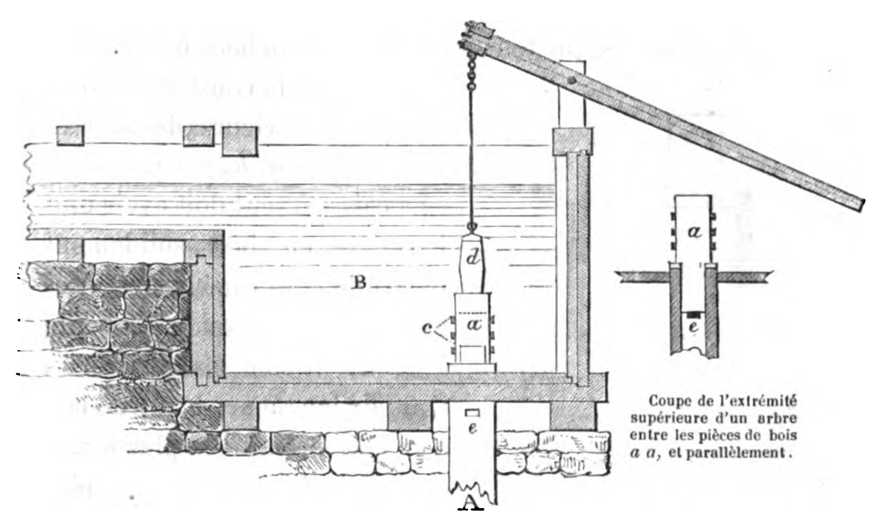


Fig. 17. — Caisse à eau; coupe longitudinale entre les arbres A A, *fig.* 16.

toujours avec intermittence. Richard affirme que, d'après son expérience, le nombre et les dimensions des aspirateurs n'ont pas d'influence sur la tension du vent.

La dimension de l'étranglement *b* peut se régler au moyen des tiges transversales *c* et des coins dont nous avons déjà parlé. Dans la trompe de Montgaillard, il était aussi large que le creux de l'arbre, soit $0^m.189$ sur $0^m.067$ dans l'autre direction.

Le volume du vent est déterminé par la quantité d'eau que l'on laisse couler par les arbres; on le règle en levant ou en baissant plus ou moins les coins *d*, suspendus à un levier par une chaîne (voir fig. 17). Ce levier fonctionne par une longue chaîne qui va jusque près du four-

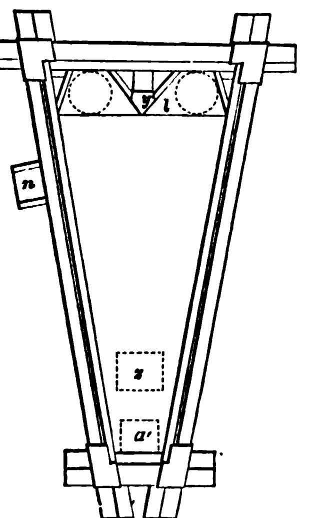


Fig. 18. — Trompe : plan; la partie inférieure a été enlevée; les cercles en pointillé indiquent la position des arbres, *z* celle de l'homme, et *a'* le tuyau *p*.

neau, afin que pendant l'opération, les ouvriers puissent modifier le vent selon les circonstances.

Les charpentiers qui font les trompes attachent une grande importance à la construction des extrémités inférieures des arbres, qu'on voit en *q*, *h*, *f* (fig. 16.)

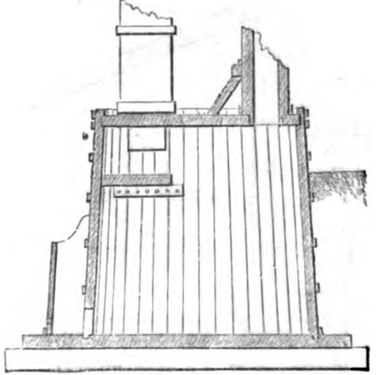


Fig. 19. — Tine; coupe verticale par le centre.

La caisse à vent doit avoir une charpente en bois solidement construite. Les dimensions intérieures de celle que représente la figure 18 sont les suivantes : 3^m.09 de longueur, 1^m.51 de largeur à l'extrémité la plus large, 0^m.395 à l'extrémité la plus étroite, et 1^m.32 de profondeur. La coupe transversale de l'intérieur du conduit *p* est carrée, et a 0^m.26 sur chaque côté. L'intérieur du porte-vent, *o*, est quadrangulaire à l'endroit où

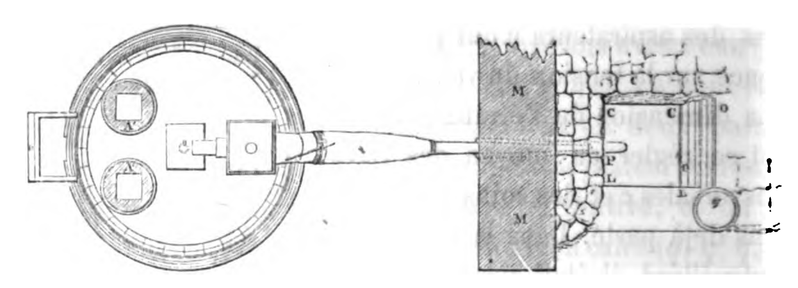


Fig. 20. — Tine et foyer.

il joint *p*, il a 0^m.18 sur 0^m.20 à cette extrémité; à l'autre, il est circulaire, et a 0^m.12 de diamètre. Le tuyau à vent est conique, et a 0^m.037 de diamètre à son extrémité étroite.

Il y a une modification moderne de la trompe, maintenant généralement adoptée, et que l'on désigne sous le nom de *tine* : la caisse à vent est circulaire comme un tonneau et plus facile à construire que la caisse trapézoïdale : on en voit la représentation fig. 19 et 20; elle n'a pas besoin de description

pour être comprise. On dit que le vent de la *tine* est plus humide que celui de la trompe ancienne, dans laquelle il y a plus de distance entre les extrémités inférieures des arbres et l'homme ; la raison en paraît assez plausible. Il y a aussi des différences dans le mode d'admission de l'air dans les arbres.

A Villeneuve-d'Olmes, on a adopté, au lieu des aspirateurs ordinaires, la disposition que présente la fig. 21 (1).

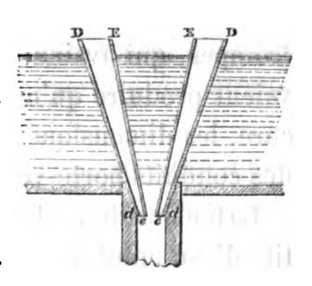


Fig. 21.—Autre système pour l'introduction de l'air par les tuyaux DE, ED, appelés *trompilles*

La tension du vent est mesurée par un simple manomètre à siphon, en verre, dont la branche inférieure passe par un tampon de bois qui s'adapte à un trou pratiqué dans le haut du tuyau *p* (fig. 16). Une échelle graduée est fixée à l'instrument, et les degrés correspondent à une colonne de mercure haute de 0m.004512 (2). Suivant Richard, aucune machine ne produit un courant d'air d'une tension aussi constante que la trompe, car on dirait que le mercure est gelé dans le manomètre. Le degré de tension est en raison de la hauteur de la chute d'eau. Dans le département de l'Ariége, on voit des trompes hautes de 9 à 10 mètres ; mais généralement elles n'ont que de 7 mètres à 8m.50. Une trompe bien construite peut, avec de telles chutes, donner un courant d'air d'une tension maximum de 0m.0855, et quelquefois même 0m.0945 de mercure. A cause de la nature du minerai, et afin d'économiser le combustible, les bonnes trompes sont maintenant (1843) combinées de manière que la tension maximum du courant d'air ne s'élève jamais plus haut que 0m.0675 de mercure.

La pression de l'eau sur l'étranglement des arbres paraît avoir beaucoup moins d'influence pour augmenter la tension du vent que la hauteur des arbres. Richard a vu des trompes

(1) Richard, p. 178.
(2) Richard, p. 181.

qui n'avaient au-dessus de l'étranglement qu'une colonne d'eau de 0m.73, et qui produisaient cependant un vent ayant une tension de 0m.0812 de mercure ; tandis que d'autres trompes, qui avaient une colonne d'eau de 2 mètres, ne pouvaient produire qu'un vent d'une tension de 0.0677 de mercure, les dimensions des étranglements et les aires de section des conduits porte-vent étant les mêmes dans les deux cas (1).

La tension du vent est sensiblement proportionnelle à la quantité d'eau employée, excepté quand cette dernière est réduite beaucoup au-dessous des limites qui existent ordinairement.

La quantité d'eau employée étant la même, les dimensions, la forme et la nature de l'étranglement influent sur la tension (2).

Les observations suivantes de Richard sur la trompe méritent l'attention. Il y avait quatre aspirateurs vers le milieu de l'arbre d'une *tine* qui rejetait l'eau par intervalles. Dans chacun était fixé un tube de verre recourbé, dont l'une des extrémités communiquait avec l'intérieur de l'arbre, et l'autre plongeait dans de l'eau contenue dans un vase de verre. Des bulles d'eau s'échappaient d'une manière intermittente des extrémités plongées dans l'eau. Cela faisait supposer qu'en fermant ces aspirateurs la tension du vent eût dû augmenter ; mais il fut constaté qu'il n'en était absolument rien. Une expérience semblable fut faite sur une autre trompe et donna les mêmes résultats.

On fit alors des expériences sur les aspirateurs d'en haut. Dans l'un d'eux, l'extrémité d'un tube de verre recourbé fut ajustée de la manière décrite ci-dessus. L'eau s'éleva à 0m.02 dans la branche qui était dans le vase de verre. L'un des aspirateurs fut fermé, mais cela ne produisit aucun changement, l'eau s'élevant toujours de 0m.02 dans le tube de verre, et le manomètre de mercure ne présentant pas de signe de dimi-

(1) Ouvrage cité, p. 223.
(2) D'Aubuisson.

nution dans la tension. On trouva aussi que le niveau de l'eau restait constamment à 0m.02, soit que les étranglements fussent entièrement ouverts ou fermés, de manière à réduire la tension de l'air dans la trompe à 0m.02707 de mercure, quoique la tension augmentât en proportion de l'ouverture des étranglements.

Richard assure que la tension du vent est un peu diminuée quand l'eau devient trouble, comme il arrive après un orage.

Avantages et désavantages de la trompe. — On peut, comparativement aux cylindres soufflants, la construire et l'entretenir à peu de frais; elle produit un vent extrêmement égal et qu'il est facile de régler. D'un autre côté, l'air qui constitue le vent de la trompe, non-seulement est toujours saturé, ou peu s'en faut, d'humidité, mais encore il contient de petites particules d'eau en suspension mécanique; la quantité d'eau qui se trouve ainsi introduite dans le fourneau en même temps que l'air, est un sérieux défaut inhérent à cette sorte de machine soufflante. Souvent l'eau transsude à travers le tube de cuir ou *bourec*, coule le long du porte-vent et tombe dans le fourneau; mais ceci ne devrait pas être, et indique un défaut de construction ou de fonctionnement dans la trompe. La proportion d'eau suspendue mécaniquement peut être encore beaucoup plus grande, si l'on permet à l'eau de monter dans la trompe plus haut que la *banquette*, ou si l'on diminue beaucoup la distance qui sépare la base des arbres du tuyau par où sort l'air. Cette eau, finement divisée, peut être transportée par l'air à une grande distance : ainsi d'Aubuisson employa une trompe pour ventiler une mine, et transporta l'air par une conduite le long d'une galerie, à une distance de 387 mètres; et quoique cet air passât par deux coudes de 90° et deux autres de 135°, et montât considérablement pendant tout son parcours, on voyait cependant des filets d'eau s'échapper par l'extrémité du tuyau (1).

(1) *Expériences faites sur la trompe du ventilateur des mines du Rancié, suivies de quel-*

Théorie de la trompe. — Venturi, en 1800, rendit compte du soufflage par le mouvement qu'il supposait communiqué par la chute d'eau, à l'air environnant et en contact avec elle. Thibaud et Tardy donnent l'explication suivante : l'eau dans sa descente par les arbres augmente de rapidité, diminue en aire de section horizontale et laisse un vide. dans lequel l'air se précipite par les aspirateurs ; l'air est alors entraîné en bas par l'eau (1). Richard avoue son impuissance à présenter une théorie satisfaisante. En 1848, Magnus, professeur de physique à l'Université de Berlin, affirmait que la véritable cause physique de la descente rapide de l'air était encore entièrement inconnue (2). Toutefois, ce philosophe distingué est conduit par ses expériences sur le mouvement des liquides, à conclure que dans la trompe il se produit la même action que lorsqu'on verse de l'eau dans un verre, et que des bulles d'air s'engageant dans l'eau sont emportées en bas par cette même eau. Le lecteur n'a qu'à répéter cette simple expérience et à en observer attentivement le résultat ; il sera probablement surpris du volume d'air considérable qui pénétrera intimement dans l'eau versée dans le vase. Magnus a décrit quelques expériences très-intéressantes à ce sujet ; nous y renvoyons le lecteur.

Résultats donnés par la trompe. — Dans une trompe bien proportionnée et bien construite, l'*effet* peut être en général estimé au moins à 1/10 de la *puissance*, c'est-à-dire que la force représentée par la chute d'une quantité d'eau donnée, d'une hauteur donnée, dans un temps donné, étant 1, la force représentée par le vent produit par cette eau dans le même temps est seulement de 0.10 ; mais elle peut aller jus-

ques observations sur les trompes en général, par M. d'Aubuisson. *Ann. des Mines*, 2e série, t. IV, p. 244 ; 1828.

(1) *Expériences faites sur les trompes des forges de Vic-Dessos* (Ariége), *Ann. des Mines*, t. VIII, p. 595 ; 1823.

(2) *Uber die Bewegung der Flüssigkeiten. Königl. Akadem. der Wissenschaften für* 1848, Berlin. (Sur le mouvement des fluides.) Il y a une traduction anglaise de ce mémoire dans le *Phil. Mag.*, 4e série, t. I, p. 1 ; janvier 1851.

qu'à 0.15 (1). On voit par là que dans cette machine il y a beaucoup de force dépensée en pure perte. Ce n'est pas là toutefois une considération importante, pourvu qu'on ait un grand approvisionnement d'eau. L'étranglement étant le même, l'*effet utile*, suivant d'Aubuisson, augmente en proportion plus grande que la quantité d'eau dépensée.

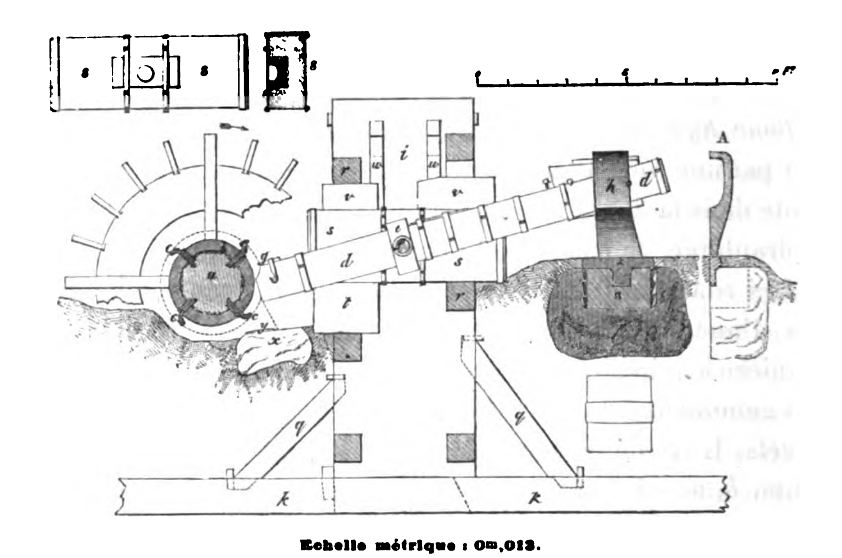
Roue hydraulique, marteau et enclume. — Le marteau est mû par une roue hydraulique. Le mécanisme entier est représenté dans la figure 22, qui est une section faisant voir la roue hydraulique, le marteau et l'enclume.

Les roues hydrauliques sont en bois, et l'eau tombe dessus d'une hauteur considérable, soit 7 mètres ou plus, de manière à agir bien plus par son choc que par son poids. Elles ont généralement de 2^{m}.50 à 3^{m}.50 de diamètre, y compris les augets. L'axe de bois, *a*, est recouvert d'un cylindre creux en fonte, *b*, ayant quatre ouvertures pour recevoir les cames de fer forgé, *c*, *c*, *c*, *c*, qui mettent le marteau en mouvement.

Le marteau consiste en un long manche en bois, dont l'une des extrémités est appelée la queue, et l'autre la tête. Le manche consiste en une pièce de hêtre équarrie, *dd*, d'environ 0^{m}.35 de diamètre moyen, et de 4^{m}.30 de longueur, renforcée de cercles de fer ; *e* est une virole de fonte qui porte de chaque côté un pivot horizontal *f*, au moyen duquel le marteau peut monter et descendre dans un plan vertical, jusqu'à la hauteur de 0^{m}.35 à 0^{m}.47 ; à la queue du manche est un morceau de bois de hêtre, *g*, qui reçoit les coups des cames et est fixé par un demi-cercle de fer, comme on le voit dans la gravure ; l'épaisseur de ce morceau de bois détermine la hauteur à laquelle le marteau peut être élevé, et l'on en change, suivant les circonstances ; l'un servant pour cingler, et un autre pour étirer. La tête du marteau, *h*, est en fonte, d'une seule pièce, et percée d'un trou, comme on le voit dans la section, fig. 22, A,

(1) D'Aubuisson, *Ann. des Mines*, 2e série, t. IV, p. 236 ; 1828.

au moyen duquel elle est adaptée au manche; elle est solidement assujettie par des coins en chêne et pèse de 600 à 670 kilogrammes. Le marteau est soutenu par une charpente



Echelle métrique : 0m,013.

Fig. 22. – Roue hydraulique, marteau et enclume.— A, coupe de la tête du marteau; B, vue complète de *ss* et coupe en travers, montrant comment l'arbre de la roue est logé dans le coussinet en fonte.

solide en chêne. De chaque côté est un montant de bois de chêne, *i*, supporté par une poutre horizontale, *kk*, parallèle au grand axe du marteau, et assujetti par des étais inclinés, *qq;* les deux montants de chêne sont solidement assemblés au moyen de traverses, *rr*, etc.; *ss* est un bloc de chêne rectangulaire, long d'environ 2 mètres, haut de $0^m.72$ et épais de $0^m.36$, solidement relié de fer, supporté à gauche par un gros billot de chêne, *t*, et à droite, par une des traverses, *r;* il y a un bloc semblable, *ss*, de ce côté-ci du marteau, où la gravure n'en représente point; ces blocs sont fortement assujettis par les coins horizontaux *vv*, et par les coins verticaux *ww;* dans ces blocs sont encastrés des coussinets de fer forgé ou de fonte destinés à recevoir les pivots du marteau, *f;* au moyen de ce système de coins, le marteau peut être facile-

ment et solidement ajusté. Sous la queue est une grosse pierre, *x*; lorsque l'on cingle, on place sur cette pierre une grande plaque de fer, *y*, sur laquelle la queue vient frapper et rebondir, de manière à accélérer la chute de la tête du marteau, qui, en marchant bien, doit donner de 100 à 125 coups par minute.

L'enclume, *z*, est en fer; elle a $0^m.70$ de long, $0^m.25$ de large au milieu, et $0^m.22$ à chaque extrémité; au moyen d'une pièce en saillie, ou tenon, long d'environ $0^m.13$, et large d'autant, elle est fixée dans un lourd bloc de fonte, α, supporté par un gros bloc de pierre, β, dans lequel celui de fonte est assujéti au moyen de coins.

Dans certaines forges, il y a des marteaux spéciaux pour finir les barres; ils sont construits précisément de la manière qui vient d'être décrite.

Personnel d'une forge catalane. — Il se compose de dix personnes, huit forgeurs et deux hommes de peine, qui sont : un *foyer*, ouvrier principal; il construit et entretient le fourneau, surveille la *trompe*, la tuyère, le chargement, et, de plus, il étire en barres le fer produit par les opérations ou *chauffes*, de deux en deux; l'ouvrier foyer a un aide. Il y a ensuite un marteleur appelé *maillé*, qui est chargé de tout ce qui a rapport au traitement mécanique du fer; il ajuste et surveille le marteau, entretient la roue hydraulique et les outils, conduit le cinglage du *massé*, et étire le fer à tour de rôle avec l'ouvrier principal; il a aussi un aide. Deux fondeurs (*escolas*) (1), qui s'occupent alternativement de la marche du fourneau, en d'autres termes du traitement du minerai pendant tout le cours d'une opération, et qui dirigent et surveillent le réchauffage du fer pour l'étirage sous le marteau : chacun d'eux a un aide. Richard considère le *foyer* comme trop payé et même entièrement inutile ; ses fonctions seraient, à son avis, mieux

(1) Ils tirent leur nom de *escoula*, forme patoise du verbe *écouler*, parce qu'ils percent le trou de coulée pour l'*écoulement* des laitiers. (François.)

remplies par les fondeurs ou *escolas*. Cette répartition des fonctions est nuisible et amène souvent des disputes et des récriminations entre le *foyer* et les *escolas*, quand les opérations ne marchent pas d'une manière satisfaisante. Voilà donc quatre ouvriers-chefs et quatre en sous-ordre. Il y a, outre cela, un gardien de la forge et un commis. Le garde-forge est chargé d'enmagasiner les matières premières et les produits, et de veiller à ce que le fourneau soit convenablement approvisionné de minerai et de charbon; son salaire est de 500 francs par an. Le commis a la forge sous sa surveillance; il est chargé des détails commerciaux, de la réception des commandes et de l'expédition des produits; il est logé; son salaire varie entre 800 à 1 200 francs par an (1). Richard les représente comme des gens ignorants dans la partie, et il constate qu'on leur accorde en général le fâcheux privilége de vendre du pain et du vin aux ouvriers forgerons, ce qui est une des formes les plus déplorables du système d'échange.

Les ouvriers forgerons se payaient encore ainsi il y a quelques années : chacun des quatre maîtres recevait 45 centimes par quintal de 40 kilogrammes de fer marchand produit ; les aides de l'ouvrier principal et du marteleur (aides du foyer et du maillet) recevaient 22 centimes 1/2 par quintal, et étaient en outre nourris par le maître, à l'exception du pain. Les aides des fondeurs (valets d'*escola*) recevaient 6 francs par semaine, et étaient entretenus par leurs chefs.

Manière de conduire l'opération. — Une charge de 12 quintaux (487 kilogrammes) de minerai est pesée et écrasée sous le marteau de la forge; elle est ensuite réduite en une poudre plus ou moins fine et en morceaux dont les plus gros ont un diamètre de 5 à 6 centimètres; on la divise alors par le tamisage en *mine* et en une poudre grossière (*greillade*), qui contient une bien plus grande proportion de matières terreuses que

(1) Tous les détails précédents sont empruntés à l'ouvrage de M. François.

la *mine*. Le fond du tamis dont on se sert est fait de fils de fer concentriques, espacés d'un centimètre au plus, et soutenus par quelques fils de fer placés en rayon. La greillade est bien humectée d'eau et mise en tas, à la droite et à portée du feu. Avec une bonne hématite brune (ou *mine ferrue*), la quantité de greillade peut s'élever à environ moitié du minerai (1).

Le feu, après avoir terminé un massé, est supposé en activité et en bon roulement; il reste dans le fond une quantité de charbon incandescent et de déchets de la dernière opération. Les pièces en fer, formant la face n° 2 (*les porges*), sont chauffées tout à fait au rouge jusqu'au nez de la tuyère; celles de la face opposée n° 4 (*l'ore* ou *le contre-vent*), le sont de même jusqu'à la moitié de cette hauteur. Les faces n° 1 (*le latairol*) et n° 3 (*la cave*), ainsi que le fond, sont aussi au rouge. Après avoir nettoyé le feu, on y rejette les charbons enflammés, puis de nouveaux charbons menus que l'on tasse fortement par-dessus. Le fondeur se sert pour cela de la pelle, frappant tantôt avec le plat, tantôt avec le tranchant, de manière à briser les plus gros morceaux de charbon et à bien les serrer tous les uns contre les autres. Quand le charbon atteint presque le bas du nez de la tuyère, on partage le feu parallèlement aux porges (face n° 2), en deux parties, au moyen d'une longue et large pelle ou plaque de fer, et à une distance des porges d'environ deux tiers de l'espace compris entre cette face et l'*ore* ou la face n° 4. A gauche de cette plaque, c'est-à-dire des porges, on ajoute du charbon que l'on tasse; on en jette aussi quelques pelletées à droite de la plaque et l'on presse fortement avec le *bascou*, outil plat à son extrémité, tout ce qui est entre l'ore et la plaque. Immédiatement par-dessus ce lit de charbon ainsi tassé, on verse une caisse de minerai, que l'on fait glisser à droite, le long de la paroi inclinée n° 4, et ensuite on le tasse. On jette encore et l'on tasse du charbon à gauche

(1) M. François, p. 271.

de la plaque, puis une seconde caisse de minerai à droite. Enfin, on ajoute une troisième caisse de minerai de la même manière que la seconde, puis le fondeur enlève adroitement la pelle ou la plaque qui sépare le creuset en deux; dans cette manœuvre, il a soin d'incliner la pelle ou la plaque presque parallèlement à la face n° 4, de manière que le tas de minerai tombe un peu en arrière sur le plan incliné, où il se distribue suivant son talus naturel. Le minerai forme ainsi un dos d'âne dont l'arête vient buter d'une part contre la face n° 3 (la cave) à environ $0^m.3$ au-dessus du fond, et s'appuyer d'autre part sur le plan incliné de la banquette destinée à soutenir l'avant-feu (face n° 1 ou latairol) jusqu'à mi-hauteur environ. On recouvre complétement de brasque humectée, parfaitement tassée et talussée le plan incliné de gauche qui regarde les porges. Sur cette brasque, on entasse des menus charbons jusqu'à la hauteur de l'arête du dos d'âne, puis par-dessus de la brasque mouillée; on bat bien le tout à la pelle, de manière à rendre le tas parfaitement solide. Le chargement terminé, l'on donne un bon coup de vent pour dégager le feu. Tout cela est l'affaire de quelques minutes.

A peine le vent a-t-il été donné, qu'une infinité de jets d'une flamme bleuâtre, de 6 à 10 centimètres, s'échappent de tous les points de la droite du tas de minerai que ne recouvre pas le charbon. S'il paraît des jets semblables sur le talus de gauche, on répand immédiatement par-dessus du menu charbon légèrement mouillé, que l'on tasse fortement; si, au contraire, il ne se montrait pas de flammes sur la droite, c'est que le creuset serait ou froid ou mal construit, ou que le chargement aurait été mal fait. Au bout de quelques minutes, pendant lesquelles on a bouché avec de l'argile le trou de coulée de la face n° 1 (latairol), on diminue le vent, de façon que le manomètre marque 6 degrés ($= 0^m.027$).

Richard a donné une description ou *procès-verbal* très-détaillé de l'opération d'une charge ou *chauffe*; il n'y consacre

pas moins de douze pages in-4° : nous en indiquons seulement les points les plus intéressants. Il est nécessaire de savoir d'abord que l'on réunit en une grosse masse, au-dessous de la tuyère, le fer réduit dans l'opération. Cette masse, qu'on appelle *loupe* ou *massé*, est martelée ou *cinglée* sous un lourd marteau ou *mail*, et divisée en trois segments : l'un, au centre, est la *massoque*, et les deux autres, aux extrémités, sont les *massoquettes*. Ces différents morceaux sont étirés en barres sous le marteau ; mais, pendant l'étirage, il est nécessaire de les réchauffer plusieurs fois. Or, le réchauffage se fait dans le même feu qui sert à réduire la mine, et sur la face n° 2 (les porges), au-dessus de la tuyère. La surface inclinée de la face n° 1 (latairol), appelée la *banquette*, facilite l'introduction et l'enlèvement de la *massoque* et des *massoquettes*. Nous donnerons plus loin de plus grands détails sur cette partie du travail sous le mail. Il faut deux hommes à un feu : un chef, ou *escola*, qui a la direction de tout et fait lui-même la partie de l'ouvrage qui exige de l'habileté, et un aide ou *valet*, qui fait l'office de manœuvre pour apporter le charbon, le minerai, etc.

Le feu chargé comme il a été décrit, on ouvre entièrement les arbres, et le manomètre marque 18° ($0^m.0812$ de mercure). On jette du charbon dans l'angle formé par les faces n°s 2 et 3 (porges et cave), de manière à former un talus descendant de l'arête du tas de minerai en dos d'âne, jusqu'à environ $0^m.25$ plus bas. On maintient le contenu du feu à un niveau constant, en ajoutant à plusieurs reprises du charbon et du minerai à l'état de greillade, pendant la première partie de l'opération dont Richard, dans son procès-verbal, fixe la durée à 1 heure 13 minutes. Après chaque addition de cette nature, on arrose d'eau. Au bout d'environ 8 minutes, on fait marquer au manomètre 8° ($0^m,0361$), et on le maintient à cette hauteur durant toute la première période du traitement.

Ensuite commence la seconde période où l'on fait monter

le manomètre à 10° (0m.0451). On nourrit le feu de charbon et de greillade, et l'on jette de l'eau de temps en temps pour empêcher une consommation inutile de combustible. Au bout de 1 heure 46 minutes, on ajoute, en place de greillade, une petite charge de scories détachées du dernier *massé* et cassées grossièrement. Au bout de 1 heure 59 minutes, on perce pour la première fois au bas du *chio* (trou de coulée), et les *scories lourdes* qui en découlent sont arrosées d'eau, puis remises au feu, où on les recouvre de charbon.

Au bout de 2 heures 22 minutes, on fait monter subitement le manomètre à 14° (0m.0632), et la troisième période commence. On introduit alors pour la première fois, au lieu de greillade, une partie du minerai en morceaux, en enfonçant un ringard (*la palinque*) entre les plaques de fonte formant la face n° 4 (l'ore) et le minerai, et, s'en servant comme d'un levier appuyé contre l'ore, on avance doucement sous le vent le minerai de la partie inférieure. Cette manœuvre s'appelle *donner la mine*. On continue à ajouter de temps en temps du charbon, de la greillade et de l'eau. Au bout de 2 heures 56 minutes, après avoir fait écouler les scories lourdes quelques minutes auparavant, et laissé le chio ouvert, la flamme qui s'élance du feu blanchit, semblable à la lumière brillante que produit le fer en combustion dans l'oxygène ; alors on ferme immédiatement le chio.

Après 3 heures 4 minutes, on fait monter le manomètre à 16° (0m.0722); et la quatrième période commence. On répète la même série de manœuvres; les scories qu'on trouve trop lourdes sont rejetées dans le fourneau. Au bout de 3 heures 25 minutes, on termine le réchauffage du dernier massé formé. Richard constate que c'est après 3 heures 33 minutes, qu'en retirant du feu le ringard employé aux manipulations, la pointe de ce ringard est recouverte d'une croûte dont l'épaisseur varie entre 4 et 8 millimètres; cette croûte, après avoir été refroidie dans l'eau et grattée avec un couteau, présente une

surface blanche très-brillante. A peu près au même moment, Richard a constamment observé qu'une poudre jaune commence à couvrir le charbon ; mais il n'a jamais pu se rendre compte de sa formation. « Cela a lieu constamment, dit-il, et « toujours vers la quatrième heure, à partir du commencement « de l'opération, quelle que soit la qualité du charbon ou du « minerai employé. La surface entière du charbon incandes« cent à la partie supérieure est recouverte d'une sorte de « cendre d'un jaune de soufre, parfaitement distinct et quel« quefois éclatant (1). » Richard a laissé de ces morceaux de charbon recouvert de poudre jaune se refroidir à l'abri de l'air atmosphérique, et il a constaté sa persistance. Les ouvriers l'attribuent au soufre, ce qui est évidemment absurde : nous ne voyons pas ce que cela peut être.

Au bout de 3 heures 50 minutes, on fait monter le manomètre à 18° ($0^m.0812$) ; c'est la cinquième période. On nourrit le feu par intervalles, de charbon et de minerai en morceaux. La flamme est devenue un peu moins bleuâtre, le charbon est presque partout enflammé à la surface, et tout le tas de minerai a disparu sous le charbon. Au bout de 3 heures 59 minutes, on fait la coulée des scories, et « la flamme sort du trou de coulée avec un bruit semblable au tonnerre lointain. » Au bout de 4 heures 10 minutes, le niveau de la masse de charbon dans le creuset est à peu près aussi élevé au-dessus du foyer que ce dernier est profond. Au bout de 4 heures 19 minutes, il est évident que le massé occupe un volume considérable sous le charbon. On charge du charbon en abondance, en faisant de temps en temps couler les scories, qui sont devenues très-maigres, et on introduit, de la manière déjà décrite, du minerai sur la face n° 4 (l'ore). Après 5 heures 29 minutes, depuis la mise en feu, le fondeur abat les angles saillants du massé sur la face n° 1 (latairol), et recherche vers le centre du

(1) Ouvrage cité, p. 261.

creuset, autour du massé, les divers fragments de fer qui sont éparpillés dans le charbon afin de les souder. L'ensemble des opérations pour former la loupe s'appelle *la baléjade*. Au bout de 5 heures 38 minutes, le fondeur abat encore les arêtes et les aspérités du massé, et l'on peut dire alors qu'il donne « la dernière main au travail »; il détache les écailles de fer qui adhèrent aux faces du creuset, et les ramène vers le milieu du massé, de manière à les y souder. Au bout de 5 heures 43 minutes, la flamme blanchit subitement et devient très-éclatante; les forgeurs disent alors que le feu *rime*, ou que le fer *se mange*. Après 6 heures 3 minutes, on arrête le vent, et l'on *recule le bourec*. On rejette alors sur la banquette, du côté de la face n° 4, les charbons qui recouvrent le massé, et on les éteint avec de l'eau. On introduit sous le massé, entre les *latairolės*, un très-fort levier de fer forgé (de 7 à 8 centimètres de diamètre), et l'appuyant sur le *restanque*, on le soumet à une suite de violentes secousses dirigées vers le bas, par un ou deux ouvriers qui montent et sautent dessus. Le massé ou loupe, ainsi complétement détaché, est enlevé du creuset par-dessus la face n° 1 (latairol), comme l'indique la figure 15.

L'opération que Richard a décrite avait duré plus longtemps qu'elle n'aurait dû, à cause, dit-il, de l'état défectueux de la tuyère; ce qui donna lieu à une plus forte consommation de charbon.

L'opération entière, désignée indifféremment par les noms de *feu* ou de *chauffe*, avait duré 6 heures 3 minutes. Selon Richard, il s'était évaporé, pendant ce temps, 106^{k}.62 d'eau, dont 51^{k}.5 furent jetés sur le feu; le reste provenait du charbon; le poids total de l'air fourni par la trompe avait été de 2 800^{k}.03; le poids moyen d'air, par minute, de 7^{k}.71, la somme de carbone converti en gaz, de 461^{k}.32, ce qui donne une quantité moyenne de carbone, consumé par minute, égale à 1^{k}.27; la quantité de charbon de bois con-

sommé avait été, en poids, de 544^{k}.07, ou, en volume, 2^{mc}.412; les barres étirées, provenant du massé, pesaient 151^{k}.6, et la quantité de minerai employé, environ 487 kilogrammes.

Il ne faut pas croire que tous les fondeurs conduisent l'opération d'une manière exactement conforme à la description précédente; car la pratique, quoique toujours la même dans les points essentiels, diffère avec les ouvriers dans les détails de moindre importance.

Suivant M. François, dans les forges de l'Ariége, on obtient généralement avec 312 kilogrammes de minerai et 340 kilogrammes de charbon de bois, 100 kilogrammes de fer marchand, et la durée moyenne d'une *chauffe* est de 6 heures. Richard estime qu'en bon roulement, 100 parties en poids de minerai doivent donner 31 parties de fer en barres et 41 en scories, contenant environ 30 pour 100 de fer métallique. Les résultats obtenus par Richard à la forge du Ressecq ont été : minerai, 100; fer en barres, 31.2; scories, 50.2; minerai, 100; fer en barres, 31; scories, 51.8. On prit des précautions pour recueillir les scories aussi exemptes d'impuretés que possible, et ou eut soin de les faire sécher avant de les peser. Sur les quarante forges en activité de l'Ariége, faisant chacune, en moyenne, mille feux ou chauffes par an, Richard a calculé que « 2 400 000 kilogrammes de fer étaient perdus chaque année dans les scories répandues, depuis des siècles, sur les routes ou jetées dans les cours d'eau. »

Un bon *massé* est une masse plus ou moins sphéroïdale, lisse à l'extérieur, exempte de saillies irrégulières ; sa surface supérieure présente une dépression correspondante au nez de la tuyère; il doit être au rouge blanc quand on le retire du feu.

Les caractères des scories fournissent des indications importantes sur l'allure du feu. Les scories, dans un bon traitement, sont généralement d'un noir bleuâtre et doivent couler facilement ; une fois éteintes dans l'eau, elles sont légères et

friables. Celles de mauvaise allure coulent péniblement et épais, donnent des étincelles au contact de l'air, en raison des parcelles de fer métallique qu'elles charrient. Cependant, les scories des premières coulées sont souvent chargées de fer ; dans ce cas, comme nous l'avons vu, on les remet au feu.

En bonne marche, l'*œil* de la tuyère, c'est-à-dire le point lumineux qu'on aperçoit par le large bout, doit être clair, d'un blanc éclatant.

M. François indique minutieusement plusieurs autres caractères au moyen desquels on doit observer, conduire et corriger l'allure du feu ; mais tout cela ne peut s'apprendre convenablement que par la pratique.

Théorie de l'opération. — Richard et M. François ont décrit les changements progressifs qui se produisent dans le foyer catalan, en examinant avec soin la masse pendant les principales périodes de l'opération. Pour y parvenir, des feux marchant dans les mêmes conditions ont été subitement arrêtés à des intervalles successifs, depuis le commencement d'une chauffe jusqu'à la fin. M. François a publié sur le rôle des réactions dans le creuset, des détails nombreux et très-minutieux, en même temps que l'étude microscopique du minerai en réduction.

En parcourant l'exposé précédent du procédé, le métallurgiste sera frappé de la manière particulière dont le tas de minerai en morceaux est disposé sur la face n° 4 (l'ore), et amené graduellement dans le feu, tandis que la greillade est introduite de temps en temps, alternativement avec le charbon. Grâce à ces combinaisons, les produits gazeux de la combustion sont, autant qu'il est possible, forcés de traverser le tas de minerai qui, se composant de morceaux détachés, n'oppose à leur passage aucun obstacle sérieux. Mais l'oxyde de carbone, un des éléments principaux de ces produits gazeux, aura réduit le minerai plus ou moins, avant que ce dernier tombe au fond du creuset. Le minerai, hématite brune ou ses-

quioxyde de fer hydraté, perd son eau combinée à une température relativement basse et devient poreux, fissuré et, par conséquent, perméable aux gaz. C'est pour cette raison que les oxydes hydratés qui ne sont pas trop compactes sont si recherchés pour le traitement direct (1). La réduction s'opérera donc graduellement dans le tas de minerai depuis le bas jusqu'aux parties supérieures et extérieures, et, entre ces limites, il existera naturellement tous les degrés, depuis le fer métallique jusqu'au minerai brut. Cette méthode de réduction est fort ingénieuse et bien digne d'attention.

Quand le minerai descend dans le creuset, il est exposé à une température graduellement plus élevée, qui suffit à la fin, pour faire entrer la silice en combinaison avec les bases terreuses qui s'y trouvent associées et avec une grande quantité de protoxyde de fer, et pour former des scories très-fluides. Les parcelles de fer réduit, soumises à la température de soudure, s'agglutinent ensemble en une masse un peu spongieuse ou massé, qui retient une quantité considérable de scories. Le minerai, introduit à l'état de greillade, est réduit également et forme des scories; le fer qui s'en sépare contribue à l'accroissement du massé. Le massé finalement est soumis à des coups répétés sous un lourd marteau qui expulse plus ou moins complétement les scories, et forme le fer en masse compacte ou *loupe*.

La greillade, à l'état de poudre grossière, présente une très-grande surface à l'action réductrice du courant ascendant d'oxyde de carbone et du charbon incandescent avec lequel il est en contact; elle doit donc se réduire rapidement, et alors les parcelles de fer métallique qui en résultent, descendent et s'agglomèrent au fond du creuset, avant qu'une seule partie de fer soit détachée de la face n° 4. Ce noyau s'appelle le *principe du massé*, et Richard le compare ingénieusement à un

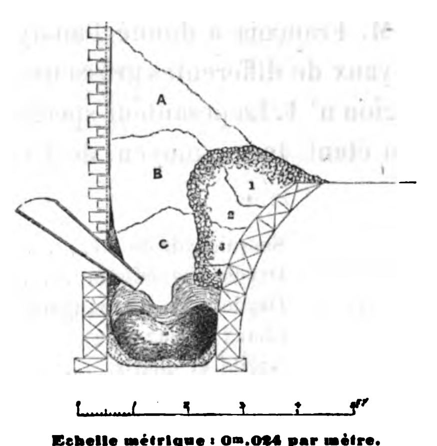
(1) François, p. 228.

fœtus ; il forme une mince couche au fond du creuset, et retient les particules de fer qui sont réduites ultérieurement. Il est important que le *principe* soit au centre du fourneau, ni trop haut ni trop bas, et un peu plus rapproché de la face n° 3 (la cave). Il peut se faire que le *principe* se place mal près d'une des faces du feu ; il convient dans ce cas de l'arracher et de provoquer la formation d'un second mieux assis (1). Quelquefois il se forme deux principes ou même davantage, auquel cas on ne peut obtenir un massé pur et homogène.

M. François a divisé le feu en plusieurs régions distinctes, correspondant aux réactions qui s'opèrent dans chacune. Ce moyen n'a pour but que de fixer les idées et d'aider à l'intelligence de la descente graduelle et successive du minerai, pendant les diverses périodes de la réduction ; et quoique les lignes divisoires qu'il assigne à ces diverses régions, dans la figure que nous reproduisons (fig. 23), se rapprochent réellement de l'état normal d'un feu en bonne allure ; quoique toutes choses y soient représentées comme elles doivent l'être pendant la *baléjade,* ces lignes sont loin d'être constantes, et M. François reconnaît qu'elles varient entre les limites les plus étendues, de la manière la plus irrégulière et la plus bizarre, suivant l'état du feu, la nature du minerai, du charbon et du vent (2). Relativement au minerai en morceaux, ou au *contrevent,* la calcination est l'opération dominante de la région n° 1; dans celle n° 2, on observe principalement les phénomènes de réduction des oxydes et l'apparition des pellicules du fer métallique ; la scorification et la liquation des terres, une réduction plus active et un commencement de carburation, marquent la région n° 3 ; enfin, dans celle n° 4, la réduction, la liquation des terres sous forme de scories, et la carburation, s'exercent simultanément avec une grande activité (3). Quant

(1) François, p. 45.
(2) Ouvrage cité, p. 225.
(3) Ouvrage cité, p. 226.

au minerai à l'état de greillade, en A, à environ 0m.20 au-dessous de la surface du feu, la calcination et la réduction dominent ; en B, région qui descend à 0m.50 de la surface, les phénomènes caractéristiques sont la réduction et la *scorification;* en C, région qui comprend le bain de scories, la réduction et la liquation sont développées (1).



Echelle métrique : 0m.024 par mètre.

Fig. 23. — Coupe verticale d'un feu par l'axe de la tuyère, pendant la période de la *baléjade.*

A la partie supérieure de la région n° 1, le minerai est en noyaux indépendants, ayant la forme mais non plus la couleur ni la texture du minerai brut. La couleur a passé du rouge ocreux au noir bleuâtre, légèrement métallique ; la texture est devenue plus compacte et le grain plus serré. La surface de chaque morceau est persillée de fissures et de gerçures qui pénètrent à une certaine profondeur, et tous ces fragments sont magnétiques. La présence de l'oxyde magnétique de fer se manifeste par une texture compacte, un grain serré et une couleur noire bleuâtre, surtout à la surface extérieure des fragments et sur les parois des gerçures, là où l'action réductive a pu se faire sentir ; la couche formée par cet oxyde augmente d'épaisseur à mesure que l'on descend dans la région n° 1. Si le minerai est pénétré de fissures, la totalité du sesquioxyde de fer qu'il contient passe à l'état d'oxyde magnétique avant que le fer soit réduit. Si, au contraire, la structure du minerai reste serrée et sans gerçures, on a à la fois sur le même fragment du fer métallique à la surface, puis une couche d'oxyde de battitures formant enveloppe, et de l'oxyde magnétique au

(1) Ouvrage cité, p. 246.

centre ; ce qui ne s'observe guère que sur des échantillons de sesquioxyde de fer compacte.

M. François a donné l'analyse d'un mélange de plusieurs noyaux de différentes grosseurs pris au milieu et au bas de la région n° 1. La pesanteur spécifique = 4.545, celle du minerai cru étant, terme moyen, de 3.650.

Sesquioxyde de fer.	49.21
Oxyde magnétique.	26.95
Oxyde brun de manganèse (Mn^3O^4). . . .	4.12
Chaux et magnésie.	6.00
Argile et quartz.	12.55
Perte au feu (O et CO^3).	1.05
	99.88

Il n'y a guère plus de silice combinée que dans le minerai brut. Les carbonates n'avaient pas encore été complétement débarrassés d'acide carbonique, et le peroxyde de manganèse n'était pas totalement à l'état d'oxyde rouge.

Au-dessous de la ligne de division des régions n°s 1 et 2. les noyaux de minerai seraient revêtus à la surface d'une pellicule de fer qui devient très-visible lorsqu'on les brise, et qui, sur les noyaux de la partie inférieure de la région n° 2, mesure de 1 à 3 dixièmes de millimètre d'épaisseur. Au microscope, on voit que cette pellicule consiste en une agrégation confuse de particules de fer et de matières incomplétement scorifiées. La pâte du noyau sous la pellicule est d'un noir bleuâtre, légèrement vitreuse, d'un aspect gras, à texture rugueuse. En brisant les noyaux extérieurs, on aperçoit encore, noyés dans la pâte intérieure, les traces des principales fissures, ainsi que les parties métalliques qui en recouvraient les parois.

Les analyses suivantes se rapportent au minerai de cette région. La densité du n° 1 = 4.695, et celle du n° 2 = 5.250.

	1.	2.
Fer métallique.	1.04	4.15
Sesquioxyde de fer. . . .	22.91	11.23
Protoxyde de fer.	59.21	60.83
Oxyde de manganèse. . .	4.02	5.50
Chaux et magnésie. . . .	5.20	9.93
Argile.	4.55	
Silice combinée.	2.10	8.47
	99.03	100.11

Le n° 1 provenait de la partie moyenne de la région n° 2, et le n° 2 de la partie inférieure de cette même région. On remarquera l'augmentation dans la proportion de silice combinée, surtout dans le n° 2, où toute la silice est combinée.

Les gaz de la région n° 2 contenaient de l'acide carbonique, mais en quantité moindre que la région n° 1 et la « flamme y était très-chargée de particules de charbon. » La quantité de charbon qui peut être ainsi entraîné en poudre fine est tellement grande, qu'elle couvre les toits des forges sur plus d'un demi-pied (0^{m}.15) d'épaisseur, et qu'elle reste suspendue en stalactites de figures bizarres au mur du fourneau, au-dessus du côté des porges.

Dans la région n° 3, une réduction plus active a lieu. Les fragments de minerai se soudent entre eux par leurs angles, sans toutefois changer sensiblement de forme. La pellicule métallique « se développe et devient un vrai tégument, » dont l'épaisseur atteint jusqu'à 2 millimètres et au delà. Le noyau intérieur présente une masse pâteuse, entièrement scoriacée et boursouflée, surtout au voisinage du tégument métallique. Si on descend dans cette région, où la température paraît se rapprocher de 1000° C. (orange foncé), tous les phénomènes déjà décrits marchent avec rapidité; les noyaux et leurs téguments se déforment et s'arrondissent. En les coupant en deux à cette période, on observe d'une manière constante une masse scoriacée, métalloïde, comprise dans une enveloppe

malléable, d'un gris terne, ayant souvent l'aspect et le grain d'une *fonte blanche*, *a*, *a*, *a*, fig. 24.

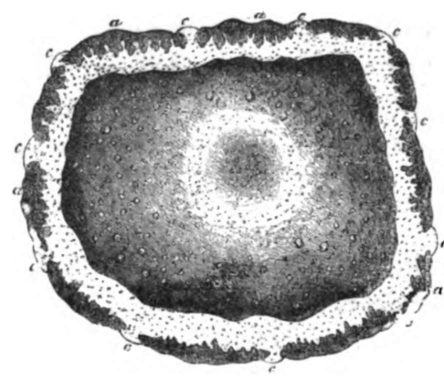


Fig. 24. — Coupe d'un fragment de minerai pendant la réduction.

M. François le considère comme du *fer aciéreux*, souillé de matières scorifiées, souvent cristallines. La surface extérieure est maculée par des gouttelettes d'un jaune verdâtre sale, qui exsudent au travers de l'enveloppe par des pores visibles à la loupe et souvent à l'œil nu, *c*, *c*, *c*, fig. 24. La surface intérieure du tégument est couverte d'appendices de fer ramuleux, stalactitiformes, *a*, *a*, *a*, qui indiquent la manière dont il se nourrit et se développe au moyen du fer qu'il prend à la masse intérieure. Cette masse, à mesure que la réduction s'opère, donne du fer aux appendices ramuleux qui baignent par leurs extrémités dans une zone de scories boursouflées, très-fluides, d'un brun-chocolat et chargées de grenailles microscopiques de fer métallique. Le noyau intérieur est d'un noir métallique, vitreux et entièrement scorifié. Sa pâte est chargée de grenailles et remplie de cavités sphériques microscopiques, d'autant plus nombreuses et plus développées que l'on se rapproche de la surface extérieure. Ces cavités attestent la pénétration et le dégagement de produits gazeux.

Nous transcrivons l'analyse de la partie intérieure ou noyau d'un fragment de minerai dans cette période de l'opération, c'est-à-dire semi-fondu, boursouflé, pâteux, d'un noir métallique et d'une structure vitreuse, dont la densité moyenne est 4.699.

Silice.	27.50
Protoxyde de fer.	41.20
Protoxyde de manganèse. . .	11.65
Chaux.	9.60
Magnésie et alumine. . . .	2.50
Parcelles de métal..	7.55
	100.00

Le tégument métallique est considéré comme du fer aciéreux, mêlé avec environ 30 pour 100 de scories. Sa pesanteur spécifique varie entre 5.540 et 5.941. Les scories ainsi associées au fer métallique sont le plus souvent en cristaux visibles à la loupe et consistent en un silicate tribasique ($3RO,SiO^3$). Les scories renfermées à l'intérieur de l'enveloppe métallique présentent des caractères semblables, mais elles y sont toujours chargées de grenailles ramuliformes et microscopiques de fer; au voisinage du noyau intérieur, elles deviennent plus riches en fer.

Les gaz recueillis dans la région n° 3 ont brûlé avec une flamme bleue d'oxyde de carbone, et ne contenaient qu'une très-petite quantité d'acide carbonique et un peu d'hydrogène.

Dans la région n° 4, dont la température est estimée à 1200° ou 1300° C. (blanc-orange), les fragments se déforment et s'aplatissent, et les matières scorifiées dont est imprégné le fer du tégument, se séparent en grande partie par la liquation, tandis que les parcelles de fer éparses, entrant en contact à la chaleur de soudure, se réunissent et forment une masse spongieuse. La réduction, la liquation et le développement du tégument s'opèrent d'autant mieux que le minerai a été plus fissuré et plus fendillé dans les régions n°s 1 et 2. Au contraire, la formation du tégument languit quand le minerai présente trop de cohésion, ou bien quand les éléments, et surtout la silice, manquent à la formation du silicate tribasique. Dans le premier cas, le tégument se développe également, mais sa texture est serrée; sa pesanteur spécifique s'élève souvent

jusqu'à 7.063, et il est moins chargé de scories dont la liquation s'opère avec rapidité, surtout s'il se présente une base telle que le protoxyde de manganèse, ayant la propriété de donner des scories très-fusibles et d'être irréductible à la température du fourneau. Dans le second cas, le tégument est inégalement développé, la réduction souffre et comme la liquation ne peut se faire, il se charge de scories pâteuses et, par conséquent, sa densité reste entre 4.200 et 5.567. Il arrive fréquemment alors que les fragments de minerai persistent à la région n° 4 avec seulement une faible pellicule, et dans ce cas, ils entrent en fusion et s'écoulent au bain de scories au fond du creuset, à l'état de silicates très-basiques, dont la réduction est le plus souvent incomplète. Cet inconvénient est dû à l'absence d'une quantité suffisante de silice, ou à la présence d'un excès de carbonate de chaux. Au bas de la région n° 4, les téguments sont en grande partie soudés fortement.

Les scories du bain, au fond du feu, contiennent toujours plus de base que le silicate tribasique, et il paraît y avoir toujours concomitance et voisinage du silicate tribasique et du fer métallique. En bonne allure, les scories, dans leur ensemble, se rapprochent très-sensiblement du silicate tribasique.

Voici les analyses des téguments métalliques dans la région n° 4 :

	1.	2.	3.
Densité.	6.140	6.215	7.063
Fer métallique. .	76.095	78.675	83.100
Scories.	23.100	20.400	15.620
Carbone.	0.605	1.055	1.250

Le n° 1 a été pris dans un feu marchant en *fer doux ordinaire;* les n°s 2 et 3, dans la partie inférieure d'un feu en allure au *fer fort;* la carburation s'était très-développée dans ces fragments de fer, et cette condition se rencontre surtout lors-

qu'il n'y a plus de noyau intérieur à réduire et partant plus de silicate basique qui puisse, par la réduction d'une partie du protoxyde, céder son oxygène au carbone combiné.

Les gaz recueillis dans cette région ont brûlé avec une flamme bleue d'oxyde de carbone, et ne contenaient que des traces d'acide carbonique.

Dans la réduction de la greillade, on retrouve la même succession de phénomènes que dans l'élaboration du minerai qui descend graduellement dans le feu sur la face n° 4 (ou contrevent); mais l'action doit évidemment être plus rapide sur la greillade qui consiste en petites parcelles de minerai, que sur les fragments relativement gros qu'on fait glisser le long du contrevent. Selon M. François, dans la région A, fig. 23, à environ $0^{m}.20$ au-dessous de la surface du feu, la calcination et la réduction dominent; la région B, qui descend à $0^{m}.50$ de la surface, est marquée par les phénomènes de réduction et de scorification; et enfin, dans la région C, qui comprend le bain de scories, la réduction et la liquation sont développées (1).

M. François constate que, dans la région B, tous les morceaux de charbon empâtés par la greillade qui est actuellement à l'état pâteux par suite de la formation de silicates, se recouvrent très-exactement d'une pellicule métallique de fer. Il remarque ensuite « que ce fait ne s'observe pas seulement sur le charbon, mais aussi sur la surface de tout corps solide infusible que l'on plonge dans la greillade en fusion, ce qui tient non-seulement à des conditions de contact du charbon et des silicates basiques facilement réductibles, mais aussi à ce que l'air insufflé et converti en gaz réducteur, va se loger de préférence entre la pâte métallifère et le corps immergé, où il rencontre des points de moindre résistance pour s'élever dans le feu. La tendance marquée que possède ici le silicate basique à passer à l'état de silicate tribasique, développe une réduc-

(1) Ouvrage cité, p. 247.

tion d'autant plus active que les morceaux de charbon agissent non-seulement comme corps solides immergés, mais encore qu'ils brûlent sous le vent, développent au voisinage une haute température et y donnent naissance à des gaz réducteurs » (1).

La face externe des pellicules métalliques est toujours tapissée de cristaux bacillaires de silicate tribasique de couleur brun-chocolat; et la liquation s'opère invariablement à l'état de silicate, à moins que l'opération ne soit mal conduite ou trop précipitée.

Bien que la réduction et la fusion de la greillade soient très-rapides pendant la première période, l'élaboration y est cependant incomplète, parce que les premières coulées de scories sont toujours beaucoup plus chargées de fer que le silicate tribasique, et qu'on les remet souvent au feu. Une scorie si fortement basique produira toujours une action décarburante sur le fer qui aura fixé du carbone; ce dernier réduit dans la scorie une proportion équivalente de protoxyde de fer, et se dégage à l'état d'oxyde de carbone. Sur la réduction incomplète de la greillade, Richard va jusqu'à dire : « L'examen, « ou, » suivant son ingénieuse expression « l'*autopsie* des feux « éteints et quelques expériences de laboratoire me semblent « démontrer que la greillade arrive à la partie la plus inférieure de sa course, sans que l'oxyde de fer qui entre dans « sa composition soit *jamais* réduit à l'état métallique » (2). Il considère que la greillade a presque uniquement pour objet de protéger les noyaux de fer déjà réduits et carburés contre l'oxydation et la décarburation, lorsque le fondeur amène successivement ces noyaux sous le nez de la tuyère, afin de les souder définitivement. Dans le voisinage de la tuyère, l'atmosphère du feu peut être fortement oxydante; et un

(1) Ouvrage cité, p. 248. On a montré précédemment qu'il n'y a pas de silicate de fer plus basique que le silicate tribasique.

(2) Ouvrage cité, p. 283.

fondeur mal intentionné en profite quelquefois pour brûler le fer du dernier massé pendant l'opération du réchauffage. Il réduit ainsi la masse obtenue par son prédécesseur, et augmente le poids de son propre massé. La greillade, on s'en souviendra, contient beaucoup plus de matière terreuse que le *minerai en morceaux*, et comme la silice est généralement l'élément principal de cette matière, il se produit en proportion une grande quantité de scories.

Quant à ce fait, que des parties du fer réduit peuvent s'emparer d'une quantité considérable de carbone, les analyses déjà présentées et d'autres qui vont suivre le prouvent ; il est donc probable que la carburation partielle et la décarburation ultérieure par un laitier fortement basique consistant essentiellement en silicate de protoxyde de fer, sont des phénomènes assez constants dans le fourneau catalan.

Les analyses suivantes se réfèrent à la surface supérieure du massé. Le métal était en fragments ramuliformes, mais peu malléable, et souillé de scories.

	1.	2.
Pesanteur spécifique.	7.423	7.042
Fer métallique.	94.870	93.216
Manganèse.	0.521	0.025
Silicium.	0.037	0.020
Carbone.	Traces.	0.420
Scories.	4.562	6.319
	99.990	100.000

Le n° 1 se rapporte à une allure en fer doux, avec du minerai manganésifère. Le n° 2 à une allure ordinaire avec un minerai de sesquioxyde de fer.

Richard et M. François ont donné les analyses suivantes des scories produites dans le travail catalan :

	1.	2.
Silice	33.542	33.00
Protoxyde de fer	41.771	39.87
Protoxyde de manganèse	12.310	13.00
Chaux	8.541	7.20
Magnésie	1.321	2.35
Alumine	1.905	3.65
Parcelles de fer	»	1.20
Perte	0.610	»
	100.000	100.27

Le n° 1, analyse de Richard (1), représente la composition moyenne de toutes les scories accompagnant la formation d'un massé de 487 kilogrammes de minerai et de greillade, produisant 150 kilogrammes de fer en barres. Le n° 2, analyse de M. François (2), offre la moyenne de huit analyses de scories, tant amorphes que cristallisées. La pesanteur spécifique d'une scorie cristallisée entièrement exempte de fer métallique est de 2.056.

Dans ces scories, l'oxygène de la silice est à peu près égal à celui des bases, de sorte que leur formule est $3RO,SiO^3$, qui est celle du *péridot* ou *olivine*. Dufrénoy a examiné quelques-uns des laitiers cristallisés que M. François lui avait remis et il a reconnu qu'ils avaient la forme de ce minéral. On verra plus tard que ces cristaux se produisent fréquemment dans la fabrication du fer. La couleur des scories du foyer catalan est d'un brun-chocolat, souvent d'une teinte olivâtre, et parfois d'un jaune d'ambre. Quand le silicate tribasique est exempt de fer métallique, il n'est pas magnétique.

Conditions qui influent sur la qualité du fer produit par le procédé catalan. — On classe le fer en deux qualités distinctes : le *fer doux* et le *fer fort*, ou fer aciéreux (*acier naturel*). Cette différence repose essentiellement sur la proportion de carbone : le fer doux n'en contient pas ou presque pas, tandis que le fer

(1) Ouvrage cité, p. 131.
(2) Ouvrage cité, p. 254.

fort en retient une quantité notable. Les qualités intermédiaires s'échelonnent entre ces points extrêmes. Nous allons examiner les circonstances spéciales qui favorisent la formation de ces deux variétés de fer : il suffit d'étudier en détail les particularités qui donnent naissance au fer fort ou à l'acier; car les conditions favorables à la formation du fer doux sont inverses des précédentes.

Les circonstances suivantes facilitent la production du fer fort (1) :

1° L'emploi de moins de greillade et d'une plus grande quantité de charbon de bois ; 2° le fait d'amener plus souvent, ou, en d'autres termes, graduellement et lentement vers la tuyère, la mine voisine du contrevent ; 3° l'écoulement plus fréquent des scories ; 4° comme point essentiel, mettre plus de temps pour la formation du massé ; 5° on prétend, ce que contestent d'autres personnes, que la tuyère doit être moins inclinée et le contrevent plus renversé ; 6° donner moins de vent vers la fin de l'opération que pour le fer doux ; 7° le charbon dense, notamment celui de chêne, est plus favorable à la formation de l'acier que le charbon léger ; 8° la présence, dans le minerai, d'une grande proportion de manganèse. D'ailleurs, le tour de main du fondeur exerce la plus grande influence ; car, avec les mêmes matières, tel ouvrier obtiendra beaucoup d'acier, tandis qu'un autre n'en produira que peu ou pas du tout.

On affirme qu'en général, mais non pas d'une manière invariable, le fer aciéreux se présente à la partie supérieure du *massé*, vers sa circonférence et principalement du côté qui correspond au trou de coulée.

Examinons maintenant, par ordre, la théorie sur laquelle se fondent ces conditions. Les deux points que l'on veut atteindre sont de favoriser la carburation et de prévenir ensuite

(1) Richard, p. 274 et suiv.; François, 287 et suiv.

la décarburation : 1° On peut développer facilement ainsi la carburation du fer. 2° Si l'on répète plus souvent cette opération, le minerai divisé en plus petits morceaux se trouvera alors exposé, sur plus de points, au contact du charbon incandescent, condition favorable à la carburation. 3° Le massé, en voie de formation, reste moins longtemps en contact avec une scorie fortement basique de protoxyde de fer, et une moins grande quantité de scories s'accumule à la fois au fond du creuset ; or, nous avons vu que ces sortes de scories exercent sur le fer une action décarburante : de plus, si l'assertion de Richard est exacte, que la quantité de ces scories est proportionnelle à celle de la greillade, il y aura d'autant moins de scories produites que l'on emploiera moins de greillade. Le fait mentionné plus haut, que le fer aciéreux se trouve généralement à la partie supérieure du massé, peut provenir de ce que la partie inférieure est plus constamment entourée de scories que la partie supérieure et en contact avec le charbon incandescent d'une manière moins continue. 4° Cette condition nécessite le contact prolongé du fer réduit avec le charbon incandescent avant qu'il se forme en massé. M. François insiste sur la durée du séjour du minerai à l'ore, où la *cémentation* se développe et où la réduction se complète au cœur des morceaux de minerai ; ce qui empêche la formation de scories fortement basiques et décarburantes. 5° Plus le vent est plongeant, plus la surface du massé est exposée à l'oxydation, ou, ce qui revient au même, à la décarburation. 6° Moins d'oxygène traverse le creuset dans un temps donné et avec une vitesse moindre ; quoiqu'il puisse en résulter un peu d'abaissement dans la température, le fer réduit demeure pendant sa descente plus longtemps en contact avec le charbon incandescent ; le courant gazeux qui traverse le creuset, contenant dès lors une moindre quantité d'oxygène à l'état libre, le fer est moins exposé à la décarburation. 7° La densité du charbon conduit

aux mêmes résultats que les conditions précédentes. 8° L'action de l'oxyde de manganèse s'explique par son aptitude à former une scorie très-liquide, irréductible, qui, n'étant pas plus basique que le silicate tribasique et n'exerçant pas dès lors une action décarburante, sert à garantir le fer déjà cémenté. Comme dans le fourneau catalan, cet oxyde ne se réduit pas notablement, il passe dans les scories, où il se substitue à l'oxyde de fer, ce qui augmente d'autant le rendement. M. François déclare s'être assuré que des aciers vifs ou doux ne perdent pas sensiblement de carbone, après une chaude de 5 heures dans un bain manganésé maintenu au rouge blanc (1).

Si la greillade est trop chargée de silice, elle peut donner des sous-silicates qui empâtent le feu, réagissent sur les scories et le fer du massé, donnent une allure froide et désordonnée et un fer aigre et pailleux. Dans le cas où elle est trop calcaire, elle donne des scories basiques d'un vert jaunâtre, le plus souvent pâteuses : l'allure languit, le fer devient aigre, pailleux et rouverain (2).

Quand l'allure est en fer doux, avec un minerai fusible et un charbon léger, la tuyère est plus inclinée qu'avec un minerai réfractaire et un charbon dense ; le travail en fer fort exige un vent qui ne soit ni trop rasant ni trop plongeant, afin que, d'une part, il n'oxyde pas la loupe, et que, d'autre part, il n'agisse pas trop rapidement sur le minerai (3).

Le degré d'humidité du vent influe sur la qualité du fer. Quoique le vent lancé par la trompe soit toujours forcément saturé d'humidité ou peu s'en faut, la quantité d'eau entraînée mécaniquement varie toutefois d'une manière si notable, qu'il peut être *relativement* sec ou humide. Un vent *sec* donne, toutes choses égales d'ailleurs, un fer plus doux et

(1) Ouvrage cité, p. 272, et aussi p. 279.
(2) François, p. 271.
(3) François, p. 285.

plus homogène, une allure plus chaude, plus égale et mieux soutenue qu'un vent *humide*; dans ce dernier cas, le creuset chauffe mal, à cause de l'excès d'eau injectée, et le fer est pailleux, mal soudé et inégalement aciéreux.

Ces observations expliquent suffisamment pourquoi, dans le procédé catalan, le vent des trompes favorise, dans les conditions ordinaires du travail des forges, la production du fer fort, et comment la machine à piston tend toujours à donner du fer doux (1).

Voici les analyses intéressantes de produits fabriqués avec un mélange d'hématite brune et de déchets de minerais manganésifères (2) :

	1.	2.
Perte au feu	17.60	18.30
Oxyde de fer	9.60	10.12
Oxyde de manganèse (Mn^3O^4)	62,60	58.00
Chaux	3.40	2.25
Magnésie	Traces.	Traces.
Argile	7.00	11.30
	100.20	99.97

En traitant en allure soutenue, avec tuyère rasante et avec emploi modéré de greillade, un mélange de 425 kilogrammes de bonne hématite brune, contenant 44 pour 100 de fer, et de 33 kilogrammes de déchets manganésés, on obtient 170 kilogrammes de fer en massoques et 163 kilogrammes de fer en barres, avec une consommation de 301 kilogrammes de charbon de bois pour 100 de fer forgé. Le déchet, à l'étirage, s'éleva à 9 pour 100 au lieu de 13.50. Le fer était parfaitement soudé et essuyé à la sortie du feu; il était doux, très-homogène, bon à la lime et au marteau; on le recherchait pour la cémentation, car il donnait des aciers d'un travail facile au feu, malléables et d'une soudabilité remar-

(1) François, p. 296.
(2) Ouvrage cité, p. 275.

quable ; ce qui peut s'expliquer par la présence du manganèse et de scories manganésées qui, d'ailleurs, durant le travail, conservent la vivacité des aciers. En effet, ce fer a donné à l'analyse :

Fer.	1.	2.
Fer métallique	99.63	99.55
Manganèse	0.12	0.20
Silicium	Traces.	Traces.
Scories	0.10	0.15
	99.85	99.90

Scories.	1.	2.
Silice	33.00	29.00
Protoxyde de fer	28.10	29.00
Protoxyde de manganèse	18.70	9.00
Chaux	»	8.90
Alumine } Magnésie }	20.60	25.00
	100,40	100.90
Richesse en fer	21.56	22.39

Ces scories étaient très-liquides et nullement magnétiques. L'oxygène de la silice est à peu près dans la même proportion que celui des bases, de sorte que leur formule est $3RO.SiO^3$.

Caractères du fer produit dans le procédé catalan. — Le fer est en général nerveux, dur, très-malléable et surtout tenace, mais manquant d'homogénéité. Sa pâte est plus ou moins chargée de taches et de grains d'acier, qui en rendent pénible le travail à la lime et au marteau. En outre, l'expulsion imparfaite des scories le rend poreux et diminue sa malléabilité. M. François a donné les analyses de cinq variétés du fer de l'Ariége ; il semblerait, d'après ces analyses, que le métal, excepté dans une des variétés, était du fer presque chimiquement pur ; car les proportions pour 100 étaient : 99.9905 ; 99.9932 ; 99.9905 ; 99.9030 ; 99.9990 ; les autres éléments sont le carbone, les scories et la silice, et le manganèse. Ces

chiffres nous surprennent beaucoup et donnent à croire qu'il y a quelque erreur.

Détails commerciaux. — Le tableau ci-dessous présente les rendements, les charges de minerai et la consommation de charbon de bois, en 1841, dans trois forges en bonne allure (1).

NOM DE LA FORGE.	MOYENNE PAR FOURNEAU, EN KILOGRAMMES.			MOYENNE POUR 100 DE FER EN BARRES.		
	Minerai.	Charbon.	Fer en barres.	Minerai.	Charbon.	Fer en barres.
Niaux-Vieux..........	510.20	460.04	168.00	300.30	273.80	100
Ramade..............	510.00	459.00	165.00	300.99	278.10	100
Celles...............	....	....	165.50	302.00	297.00	100

Avec le même minerai, les rendements variaient un peu dans les différentes localités, suivant les prix respectifs du minerai et du charbon de bois : ainsi, dans les forges voisines des mines, le charbon peut être cher et le minerai bon marché, tandis que dans d'autres forges éloignées de l'extraction, le prix du charbon peut être bas, et celui du minerai élevé ; on cherchait, en conséquence, à économiser le plus possible le charbon dans le premier cas, et dans le second, le minerai.

En 1839 et 1840, 49 forges en activité dans le département de l'Ariége ont produit, en 38 200 *feux* ou *chauffes*, 58 550 quintaux métriques de fer se vendant, pris à la forge, 43 fr. 50 par quintal ; soit, en moyenne, 779 *feux* et 1 194 quintaux métriques par forge. Sur cette quantité, 2 150 quintaux métriques, ou 1/23 de la production totale, étaient en *fer fort* exigé par les besoins de l'agriculture. M. François a donné la balance suivante d'une forge de Vicdessos (Pyrénées) en 1840, faisant 1000 feux, et marchant à raison de 153 kilogrammes de fer par feu.

(1) François, p. 50. Les détails commerciaux sont principalement empruntés à cet auteur.

Prix de revient de 100 kilogrammes de fer forgé, à la forge :

310 kilogrammes de minerai à 2 francs par 100 kilogrammes.		6.20
302 kilogrammes de charbon de bois à 8 fr. 20.		24.76
Main-d'œuvre.		5.95
Garde-forge et commis, 1.500 francs par an. .		0.93
Entretien de l'usine, 1.200 francs.		0.80
Intérêt à 5 pour 100 de la valeur de l'usine, 125.000 francs.		1.03
Intérêt à 6 pour 100 du fonds de roulement, 29.000 francs.	29.000 fr.	0.98
Savoir : Pour achat de minerai.	3.000	
Pour achat de charbon de bois.	25.000	
Salaires des ouvriers.	1.000	
Prix de revient de 100 kilogrammes de fer. . .		40.65
Prix de vente à l'usine en 1840.		43.00
Bénéfice net.		2.65

Nous ferons remarquer que la main-d'œuvre, par tonne, entre pour 59 fr. 50, et l'achat du charbon pour 247 fr. 60. De bon fer en barres coûte actuellement (avril 1862) 150 francs par tonne environ, en Angleterre.

Si l'on tient compte des facilités dues à la vapeur pour les communications par terre et par eau, et de la production énorme de fer en barres dont la qualité répond à plusieurs au moins des usages auxquels on appliquait le fer des forges catalanes, et dont le prix est généralement au-dessus du tiers du chiffre indiqué, il est évident qu'il n'y a relativement que peu de localités en Europe où ces forges puissent travailler avec profit. Dans les contrées montagneuses, abondantes en minerais riches et en bois propres à faire du charbon, le procédé catalan peut prospérer, si ces régions ne sont pas encore reliées aux chemins de fer; mais assurément il ne réussirait pas dans les localités favorisées sous le rapport du minerai, du combustible et de l'eau, s'il n'était protégé contre la concurrence du fer fabriqué par les procédés modernes, par le taux élevé des transports ou par d'autres cir-

constances. Les avantages de ce procédé sont que les frais d'installation et de roulement sont insignifiants, et que la consommation de charbon de bois est relativement faible.

M. François a fait quelques remarques judicieuses qui trouveront bien ici leur place, sur l'ignorance des maîtres de forges catalanes.

« On a lieu de s'étonner de la rétribution de l'ouvrier dans « nos forges, rétribution qui souvent s'élève pour les maîtres « à 8 francs et au delà par jour de travail. Mais en pénétrant « dans les usines, on s'aperçoit bientôt que l'ignorance du « maître de forges et l'abandon dans lequel il laisse son usine, « motivent jusqu'à un certain point les prétentions des ou- « vriers. On a souvent parlé de l'inutilité de celui qui est « chargé du feu, du *foyer*. J'avoue qu'il n'est pas indispen- « sable avec un maître de forge éclairé dans la pratique des « forges ; mais dans l'état actuel et complétement négatif de « ses connaissances, ce dernier peut-il songer sérieusement à « exercer une influence quelconque sur les forgeurs ? Il subit « la loi de l'ouvrier, et il la subira tant qu'il sera exclusive- « ment marchand de fer, tant qu'il s'humiliera devant la pré- « tendue omnipotence de la routine, et qu'il niera la coopé- « ration efficace de la science appliquée (1). »

Les préjugés, l'obstination et l'insociabilité des ouvriers des forges catalanes ont été parfaitement mis en évidence dans les ouvrages de Richard, de M. François et d'autres ingénieurs versés dans la théorie et la pratique de l'art. Malheureusement les ouvriers des usines anglaises n'ont que trop souvent présenté les mêmes défauts, à leur détriment, comme à celui de leurs patrons. Aujourd'hui même, des tentatives d'innovation rencontreraient, dans certaines localités du moins, une opposition violente de la part des ouvriers. Ceci ne paraîtra pas surprenant ni étrange, si nous considérons que ces

(1) Ouvrage cité, p. 337.

hommes, ayant acquis par une longue pratique et un travail pénible une habileté *spéciale* qui trouve un bon prix, craignent que des innovations ne viennent diminuer la valeur de leurs services. Et, sans contredit, les innovations ont causé à l'origine, dans certains cas, une grande détresse chez des ouvriers industrieux et méritants; mais la résistance est complétement inutile. Si les perfectionnements sont rejetés dans une localité, ils s'implantent et prospèrent dans une autre. On pourrait citer de nombreux exemples d'industries florissantes qui, par suite de l'opposition acharnée et systématique des ouvriers contre tout perfectionnement, ont disparu dans une ville, mais seulement pour revivre avec plus de vigueur dans une autre. L'enseignement à tirer de là, c'est que l'ouvrier ne devrait pas chercher en désespoir de cause à retarder ou à arrêter la loi irrésistible du progrès, mais plutôt à se conformer de bonne grâce à des circonstances inévitables. Les hommes vraiment intelligents et habiles reconnaîtront que c'est le parti le plus prudent, et à la longue ils n'auront probablement pas à s'en plaindre.

SITUATION DES FORGES CATALANES.

France. — Il n'y a pas un demi-siècle, les forges catalanes étaient extrêmement multipliées en France. Les Corbières et les montagnes Noires, dans l'Aude, en possédaient plusieurs en état de prospérité, et l'on en connaissait, en 1807, jusqu'aux environs de Castres (à Monségur), ainsi que plusieurs autres dans le département du Lot, près d'Arques.

Ces dernières, malgré le prix du bois déjà très-élevé à cette époque, marchaient pourtant avec des minerais limoneux ne rendant en moyenne et dans des petits foyers que 22 pour 100 et consommant 14 de charbon de bois pour 1 de fer produit! Ces fers, il est vrai, étaient d'excellente qualité: ils revenaient à 55 francs les 100 kilogrammes et se vendaient 80 francs. La question commerciale de la méthode directe, malgré ces prix exorbitants, se trouvait résolue par la différence entre le prix de revient et celui de la vente.

En 1824, les forges de Gincla, consommant des minerais de Fillols (belles hématites manganésées) ne produisaient que 31 pour 100 de minerai et brûlaient en même temps 100 de charbon de hêtre, c'est-à-dire plus de 3 de charbon pour 1 de fer. Sahorre, dans les Pyrénées-Orientales, près de Prades, arrivait

aux mêmes résultats avec un mélange de minerai provenant de Fillols, Torren, Aytua et Escarro.

Depuis cette époque, ces rendements ont varié aussi peu que les méthodes, tant dans le Capsire que dans le Vallespire.

Aujourd'hui encore, les forges sont assez nombreuses dans ces deux régions. D'après la dernière statistique de l'administration des mines, on comptait en France, en 1858, 88 foyers, qui se répartissaient de la manière suivante :

Ariége	45
Pyrénées-Orientales	24
Aude	9
Haute-Garonne	4
Basses-Pyrénées	3
Hautes-Pyrénées	1
Lot-et-Garonne	1
Tarn	1
Nombre total des foyers.	88

L'administration n'indique pas les forges en activité ni leur production.

Les consommations de minerai et de charbon et le prix de revient indiqués par M. François, s'appliquent à des forges existant dans des circonstances favorables, puisqu'elles appartenaient à des propriétaires intelligents. Comme comparaison, il suffit de rappeler que :

Par la méthode du Vallespire, dans le Roussillon, on emploie	3.35 de charbon pour 1 de fer.
Par la méthode corse, avec du minerai de l'île d'Elbe, etc	8 — —

Italie. — Les minerais de l'île d'Elbe ont été traités de tout temps, on peut dire, sur la côte de la Méditerranée, en Ligurie et dans les provinces napolitaines. On conçoit que ces minerais, d'un rendement moyen de 50 pour 100, exigeant de 4 à 7 quintaux de charbon pour 1 de fer produit, suivant les différences du travail, aient été transportés, même avec peine, vers les lieux boisés où l'on pouvait disposer d'une force hydraulique suffisante.

Les forges liguriennes, c'est-à-dire des arrondissements de Gênes, de Savone et d'Albenga étaient, il y a trente ans, au nombre de quarante-trois ; elles étaient situées, les unes sur le versant méridional de l'Apennin, les autres sur la crête et sur le versant nord, couvert de châtaigniers. Le minerai de l'île d'Elbe, transporté à dos de mulets depuis le rivage, coûtait à la forge de 4 fr. 50 c. à 5 francs le quintal métrique. Le prix du charbon variait entre 4 et 5 francs ; on en consommait, en moyenne, 4 quintaux pour 1 de fer, y compris la quantité nécessaire au réchauffage et à l'étirage. La main-d'œuvre se payait à forfait 4 francs par quintal. Le prix de revient s'établissait alors, à la faveur d'un droit protecteur de 25 francs, de la manière suivante par quintal :

Minerai, 2 quintaux à 5 francs........	10 francs.
Charbon, 4 quintaux à 4 francs........	16 —
Main-d'œuvre......................	4 —
Total..........	30 francs.

Ces fers se vendaient à Gênes et sur le littoral, de 42 à 45 francs. En 1840, le droit fut réduit à 20 francs; en 1842, à 16 francs; en 1851, à 10 francs, et en 1856, à 5 francs. Grâce à cette réduction, les fers étrangers arrivant à Gênes amenèrent un abaissement équivalent dans les prix des fers catalans; d'ailleurs, le charbon valut bientôt 5 fr. 50 c.; pour économiser le minerai, les propriétaires durent mélanger des fontes et des ferrailles, et la qualité du fer diminuant, la production ne tarda pas à s'amoindrir rapidement :

Années.	Forges en activité.	Production.
1836	35	32.861 quintaux.
1839	37	33.364 —
1846	31	23.452 —
1848	28	22.647 —
1849	24	20.172 —
1852	22	13.537 —
1855	14	9.002 —

On n'importe plus aujourd'hui dans la rivière de Gênes que quelques milliers de quintaux de minerai. Les seules forges qui aient survécu traitent des fontes et des vieux fers pour utiliser leur matériel et les bois dont elles disposent.

Dans les provinces napolitaines les forges sont situées même assez avant dans les terres. Quelques-unes travaillent plus ou moins activement à Fuscaldo, près de Paola (Calabre citérieure), à Montella et à Atripalda, près d'Avellino, à Vietri, à Amalfi et à Razzona. On compte en tout dix-sept forges avec deux ou trois feux chacune. Au lieu de 25 000 quintaux que les quarante-cinq feux pourraient produire, s'ils ne chômaient pas, ils ne livrent aujourd'hui que 7 000 quintaux. On traite rarement le minerai de l'île d'Elbe sans le mélanger avec un quart de sables ferrifères d'Ischia ou de Pozzuoli et avec de la fonte. Le minerai, qui revient à 4 fr. 60 c. aux forges, n'est pas grillé, mais concassé et débarrassé des pyrites qu'il renferme. Le charbon le plus communément employé est fait avec du châtaigner; il vaut de 4 francs à 5 fr. 40 c. le quintal à Fuscaldo; le charbon de hêtre ne vaut que 3 fr. 50. La consommation atteint 4 1/4 à Mantella et 6 à Fuscaldo pour 1 de fer. La main-d'œuvre se paye de 6 à 7 francs. Les fers en barres se vendaient 42 et 46 francs, tandis que le prix de revient se maintenait avec peine entre 35 et 40 francs; mais l'abaissement des droits étendu aux usines napolitaines leur réserve le même sort qu'aux forges liguriennes (1).

Espagne. — Dans les provinces du nord de l'Espagne et de Tolède et dans la vallée du Tage, on trouve encore de nombreuses forges catalanes en lutte avec les nouveaux procédés. Depuis Pline le naturaliste, ces forges échelonnées de la Navarre jusqu'à la Galice emploient divers minerais, parmi

(1) *Industria del ferro* (*F. Giordano relatore*), Torino, 1864.

lesquels celui de Sommorostro a été le plus recherché. Ce minerai se divise en plusieurs classes que chaque propriétaire sait demander pour en faire les mélanges les plus favorables. C'est le *vena negra*, oligiste de couleur noire bleuâtre, à structure écailleuse, fournissant du fer un peu aigre. Le *vena roja*, hydroxyde rouge, tendre, tachant fortement les doigts, plus facile à fondre que le n° 1, mais moins riche. Le *vena roja azulada*, mélange des n°s 1 et 2, mine la plus riche et la plus avantageuse pour les forges catalanes, mais peu abondante. Le *campanil azulado*, fer carbonaté, altéré ou mélangé; le *rubio*, oxyde de fer brun, compacte; le *calon*, minerai argileux, très-siliceux; le *toba*, ocre jaune de formation vraisemblablement moderne.

Quelques-uns de ces minerais ont rendu, par voie sèche :

Vena negra.......	46 pour 100	fonte.
Vena roja........	49	—
Rubio............	61	—
Calon............	58.80	—
Toba.............	49	—

Don Rafael Amar de la Torre, inspecteur général des mines, a donné pour le roulement d'une forge située non loin de Vittoria, sur le Rio-Araya, les chiffres suivants : 475 à 480 de charbon de bois pour 69 à 70 kilogrammes de fer à chaque *massé*. Cette forge, il est vrai, était intermittente, n'ayant pas toute l'eau qu'il lui fallait pour une marche constante. On y comptait d'une manière absurde par feux de six heures; la main-d'œuvre n'y était pas en raison du poids du fer produit, les ouvriers n'avaient pour obligation que de façonner 4 *zamarras* (massés) par vingt-quatre heures, et faisaient payer au minerai et au charbon leur manque de soins. Ici, le sommorostro rendait effectivement 30 pour 100 au lieu de 40.

Paillette a constaté dans une forge, à Tolosa, une consommation de 3 de minerai et de 4 à 4.5 de charbon pour 1 de fer, et dans une autre forge de la même localité, pour 30 quintaux de minerai, une consommation de 27 à 30 quintaux de charbon avec production de 7 quintaux de fer. A Mondragon, des feux de quatre heures de durée, marchant par le procédé Vallesepire, donnaient pour :

3 de minerai trié et grillé.	1 de fer employé à faire de l'acier.
Et 4 à 5 de charbon (hêtre et chêne).	

Le massé (*zamarra*), comme dans beaucoup de petites forges, ne dépassait pas le poids de 69 à 80 kilogrammes. Voici, d'après le propriétaire, quels étaient les frais dans cette usine pour 1 quintal de 46 kilogrammes de fer du premier choix :

138 kilogrammes de minerai Sommorostro trié...	5 fr. 53
Grillage du minerai..........................	0 53
250 kilogrammes de charbon de bois choisi.....	14 80
Façon ajoutée à l'année (?)......	6 »
Total pour 45 kilogrammes de fer excellent...	26 fr. 86

Soit, pour 100 kilogrammes, environ 58 francs.

Ce prix, évidemment exagéré dans tous les détails, bien qu'il s'applique à des fers renommés, ne saurait être admis pour celui du fer marchand à la catalane qui valait alors de 40 à 45 francs les 100 kilogrammes sur les marchés de la Biscaye.

La forge de Luarca est une des plus anciennes et de celles qui marchent le mieux, en tant que qualité, puisque le fer se vend près de 20 pour 100 plus cher que celui de Biscaye et du Guipuzcoa. Les feux varient en durée de quatre heures à quatre heures et demie. Les frais établis en 1843 par Paillette, en rapportant tout à 100 kilogrammes de fer produit, dans le but de comparer la méthode de Luarca avec son analogue des Pyrénées françaises, étaient :

Achat de minerai à Bilbao	8 fr.	34	15	43
Fret	6	49		
Transport de Luarca à l'usine	0	60		
Grillage.				
Bois pour le tas	1	30	2	55
Main-d'œuvre	1	25		
Fabrication.				
3 de minerai valant 16 fr. 96 c.			50	88
5.20 de charbon à 41 fr. 30 c. les 1 000 kilogrammes			215	»
Main-d'œuvre			41	»
Prix brut de la tonne			324	86

Aujourd'hui, les charbons ont une si grande valeur, et la main-d'œuvre est tellement augmentée, que le propriétaire estime son prix de revient, y compris l'intérêt de la forge et du fonds de roulement, les contributions nouvelles, etc., à plus de 400 francs la tonne; aussi laisse-t-il le plus souvent chômer.

En résumé, d'après les exemples nombreux pris en France, en Italie et en Espagne, il est facile de déduire les faits suivants :

1° Que les excellents minerais de Sommorostro n'ont rendu que 30 à 33 pour 100, malgré les teneurs de 46 à 49; ceux de Rancié, etc., ont eu le même rendement pour des teneurs de 43 à 45; ceux de l'île d'Elbe, tenant 65 pour 100, rendent seulement 50 pour 100 de fer;

2° Qu'on consomme en général :

En France, plus de	3	de charbon	pour 1 de fer.
En Espagne	4, 5 et 5 1/2	—	—
En Italie (Calabre)	4,25 et 6	—	—
En Corse	8	—	—

3° Que le charbon et la main-d'œuvre augmentant tous les jours, et le prix

des fers diminuant par rapport à ceux de la méthode catalane, dont le prix de revient reste variable entre 400 et 600 francs la tonne, la plupart des forges seront infailliblement en chômage si l'on ne parvient, pour utiliser tous les appareils et les chutes, à modifier la méthode ou à la perfectionner en employant les chaleurs perdues, ou bien à appliquer des méthodes nouvelles telles que celle de Renton. (*Note des Traducteurs.*)

PERFECTIONNEMENTS DU PROCÉDÉ CATALAN.

Utilisation de la chaleur perdue. — On a publié, en 1850, un compte rendu de l'heureuse application de la chaleur perdue, dans quelques-unes des forges catalanes de la Ligurie où il n'y en avait pas moins de quarante en activité (1). Elles paraissent avoir été établies dans le district de Gênes, depuis une époque très-reculée, puisque ni l'histoire ni les traditions populaires ne nous ont conservé aucun souvenir de leur origine. Elles ressemblent aux forges pyrénéennes pour la forme, les dimensions et la construction des foyers, pourvus également de trompes. Les noms italiens des diverses parties du fourneau ressemblent même aux noms français. Le minerai se tire de l'île d'Elbe, et parmi les différentes variétés de fer oxydé, des mines de Rio, se trouve un fer oligiste écailleux et compacte. Une analyse de ce minerai, faite à l'arsenal de Turin, a donné:

Protoxyde de fer.	1.61
Sesquioxyde de fer.	96.04
Magnésie.	Traces.
Silice.	2.15
Perte.	0.20
	100.00
Fer métallique.	68,51 °/₀

On y distingue souvent des traces de pyrites de fer et de cuivre, que l'on sépare le plus complétement possible, et si

(1) *Notices sur les usines catalano-liguriennes et sur les avantages récemment obtenus en utilisant les flammes perdues*, par C. Baldracco (traduit par MM. Giordano et Gastaldi). *Ann. des Mines*, 4ᵉ partie, t. XII, p. 143; 1850.

elles ne sont pas visibles, même avec la loupe, leur présence se trahit par l'odeur de l'acide sulfureux dégagé pendant le grillage. De vieilles fontes et des ferrailles étaient traitées simultanément avec le minerai. Le minerai et le charbon se chargeaient de la même manière que dans les forges pyrénéennes.

Voici quelles étaient les consommations et les produits avant les modifications :

	1.	2.
Minerai en morceaux.	190.68	222.32
Minerai menu.	47.65	
Fonte.	23.82	25.82
Ferraille.	15.88	15.88
Charbon de bois.	428.81	698.72
Rendement général du fer en barres carrées (*quaroni*), pour lesquelles il faut, en outre, 135 kilogrammes de charbon de bois, afin de les étirer en barres marchandes.	135.00	131.80
Fer en barres marchandes.		125.21

N° 1. Aux forges de Tripalda et de Prato.

N° 2. Aux forges de Sassello.

C'est à Tripalda, où pendant la plus grande partie d'une *chauffe* on soufflait 6k.60 d'air par minute, que l'on construisit d'abord un four à réverbère, à sole plate, de manière à utiliser les flammes qui s'échappaient du foyer catalan, le grand axe du fourneau étant placé dans le sens du porte-vent; on construisit plus tard, dans la forge de Prato, un autre fourneau à réverbère semblable, mais dont le grand axe était à angle droit avec le porte-vent. Une des extrémités du four communiquait avec le foyer catalan au moyen d'une hotte en maçonnerie, qui se projetait à une distance convenable et directement au-dessus du foyer. A l'autre extrémité, une porte servait au chargement du minerai et du charbon ; immédiatement au-dessus de cette porte se trouvait, à l'intérieur du four, une chambre verticale (que nous appellerons C), avec

une grille au fond, une porte de côté et une cheminée au-dessus. Les flammes perdues au sortir du foyer étaient ainsi guidées par la hotte dans le four à réverbère qu'elles traversaient en longueur, en suivant la sole, puis montaient perpendiculairement par la grille dans la chambre C, et de là se dégageaient par la cheminée élevée à 15 mètres au-dessus de la sole du four.

Le minerai était apporté aux forges, en morceaux de la grosseur de la tête et même plus gros. Dans cet état, on le faisait fortement chauffer sur la grille de la chambre C ; il exhalait alors une odeur sulfureuse plus ou moins sensible. Au bout de quelque temps, on le retirait et on le jetait dans l'eau, ce qui le rendait poreux et fragile et lui faisait perdre environ 5 pour 100 de son poids. On le cassait alors avec facilité en morceaux, et réduit en *greillade* on le répandait uniformément sur une couche de charbon de bois concassé, dont on avait préalablement couvert la sole du four à réverbère, sur une épaisseur d'environ 0m.10. Le charbon de bois est indispensable, ainsi que le prouvent les tentatives des ouvriers pour s'en passer. Le minerai, ainsi exposé pendant toute la durée d'une opération, à une température assez élevée, au contact du charbon de bois et à l'action réductive des gaz du foyer catalan, perdait de 10 à 12 pour 100 d'oxygène. Pendant ce temps, la couche de charbon était entièrement consumée. On ajoutait ensuite au minerai un peu de fonte et de ferraille, et pendant que la charge était encore chaude, on la faisait tomber régulièrement, avec un grand ringard, par la porte de chargement, sur le foyer prêt à la recevoir. Grâce à ce traitement préalable, on pouvait faire par jour 5 chauffes au lieu de 4, avec une grande économie en charbon, une amélioration dans la qualité du fer et un rendement un peu plus fort. Il était nécessaire d'éviter que le four à réverbère ne devînt chaud au point de fritter ou de scorifier le minerai.

Il y avait de même, dans ces forges, des fours distincts pour réchauffer le fer avant l'étirage en barres; leurs flammes perdues furent aussi employées pour chauffer les fours à réverbère avec grand avantage. Les fours de réchauffage étaient plus petits que ceux que nous venons de décrire, mais ils étaient analogues sous les autres rapports, sauf que la grille de la chambre C avait été supprimée. Le résultat immédiat fut une grande économie de charbon et de temps dans le réchauffage du fer.

Avant qu'on utilisât la chaleur perdue des foyers catalans, la consommation du charbon s'élevait à 4.35 pour 1 de fer marchand produit, tandis qu'en utilisant les flammes le rapport n'était plus que de 2.57 pour 1.

Les résultats suivants ont été constatés depuis cette modification à la forge de Tripalda :

TEMPS EMPLOYÉ.	OPÉRATIONS EXÉCUTÉES.	MATIÈRES PREMIÈRES.					FER OBTENU.
		Minerai en morceaux	Minerai en poudre.	Fonte.	Ferraille.	Charbon de bois.	
Heures.		Kil.	Kil.	Kil.	Kil.	Kil.	Kil.
499	103	9 813	6 552	2 454	3 272	26 172	14 714

Il résulte des données du tableau précédent que, suivant la méthode ligurienne, on pouvait exécuter dans chaque semaine de 144 heures, c'est-à-dire en 6 jours, 30 opérations au lieu de 24 que l'on faisait auparavant; la consommation par opération était, avec la nouvelle méthode, de $95^{k}.30$ de minerai en morceaux, $63^{k}.50$ de minerai en poudre, $23^{k}.80$ de fonte, $31^{k}.75$ de ferraille et 254 kilogrammes de charbon de bois, et l'on avait un rendement de 143 kilogrammes de fer carillon de bonne qualité. En outre, avec un four à réchauffer, dans lequel la chaleur perdue était utilisée de la même ma-

nière, on pouvait étirer 715 kilogrammes de fer par jour, au lieu de 476 kilogrammes.

En admettant, pour les frais généraux annuels d'une usine catalano-ligurienne, la somme de 3 700 francs, et en tenant compte de toutes les dépenses, on trouve pour 100 kilogrammes de fer marchand en barres, avec l'ancienne méthode, un prix de revient de 38 fr. 28 c., et, avec la nouvelle, de 28 fr. 94 c. seulement (*).

On nous reprochera peut-être d'avoir décrit le procédé catalan avec trop de détails, parce qu'il est abandonné en Europe, ou peu s'en faut, et qu'il est peu probable qu'on le reprenne. Mais le procédé auquel on devait primitivement toute la production du fer méritait plus qu'une mention rapide, ne fût-ce qu'au point de vue de l'intérêt historique. Il y a, d'ailleurs, d'autres raisons qui m'ont engagé à offrir de ce procédé un compte rendu détaillé : c'est qu'il donne la connaissance de beaucoup de faits dont on sentira l'importance dans nos recherches ultérieures, et qu'il peut être utile à ceux qui émigrent dans des régions éloignées, relativement inaccessibles, où il peut être pratiqué avantageusement et soutenir avec succès la concurrence même des fers étrangers.

PROCÉDÉ CORSE (1).

Cette méthode offre plusieurs points intéressants, et l'appareil qu'elle exige est des plus simples, puisqu'en réalité ce

(*) Le perfectionnement introduit par l'ingénieur Baldracco dans les forges du marquis Pallavicini, en 1843-44, eût rendu possible, dans les usines liguriennes bien situées, la fabrication actuelle par la méthode catalane, mais elle échoua quelques années plus tard par l'aveugle résistance des ouvriers. (*Industria del ferro in Italia*. Torino, 1864, p. 336.) (*Les Traducteurs.*)

(1) *Notice sur la fabrication du fer en Corse*, par M. Sagey, 1828; *Ann. des Mines*, 2e série, t. IV, p. 121-144. *Das Wichtigste aus der Eisenhuttenkunde* von J.-H. Hassenfratz (*Résumé substantiel de la sidérotechnie* de J.-H. Hassenfratz). Leipzig, 1822, p. 324.

n'est qu'un feu de forge : elle paraît avoir été suivie en Corse depuis une époque très-reculée. En 1812, il y avait huit de ces petites forges en activité, six en 1820, et seulement quatre en 1828 ; nous ne saurions dire s'il en reste encore (*).

Le minerai employé était l'hématite rouge ou minerai spéculaire de l'île d'Elbe. Il arrivait en Corse en gros morceaux qui étaient transportés aux forges à dos de mulets, sans déchet notable. On le faisait d'abord griller de la manière décrite plus loin, puis on le cassait à la main. Le combustible était le charbon de châtaigner. Le vent était fourni par des trompes ayant un seul arbre haut de 7 mètres. Le marteau était en fer forgé, excepté la panne qui était en acier; il pesait 144 kilogrammes et était mis en mouvement par une roue hydraulique. L'enclume était en fer forgé avec étampe en acier; elle pesait 80 kilogrammes et reposait sur un bloc de fonte du poids de 1 000 kilogrammes.

Les figures 25, 26 et 27 représentent le foyer proprement dit : il est creusé dans une masse de brasque ou amas de menu charbon, supporté par une aire en maçonnerie élevée au-dessus du sol ; cet amas est appuyé contre un mur qui reçoit et supporte la tuyère ; c'est le côté des porges dans le foyer catalan. Il y a un autre petit mur placé en avant et à angle droit du précédent et qui forme la face du chio (ou

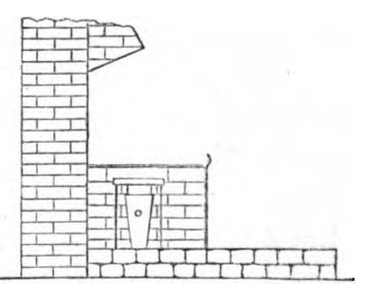


Fig. 25. — Foyer corse : élévation.

(*) Le procédé corse n'est plus appliqué aujourd'hui que d'une manière très-intermittente, dans trois ou quatre petites forges, celle de Paoli entre autres. (*Les Traducteurs.*)

C'est une traduction faite par Hasse sur l'original français. Il y a aussi un ouvrage spécial sur ce sujet qui a pour titre: *Mémoire sur la manière dont on extrait le fer en Corse*, par du Coudray. Paris, 1775, in-8°. Nous tirons nos renseignements du mémoire de M. Sagey; nous avons eu aussi, il y a quelques années, l'occasion de converser avec l'auteur sur cette fabrication.

latairol); il n'y a point de faces de contrevent ni de cave.

Le trou du chio, pratiqué dans une plaque de fer mobile, doit être à 0^m.50 du mur de gauche et à 0^m.56 du plan vertical passant par l'axe de la tuyère ; enfin, il se trouve à 0^m.15 au-dessous de l'orifice de celle-ci.

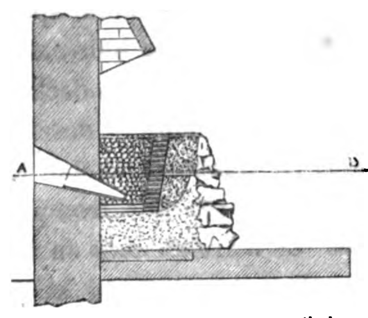
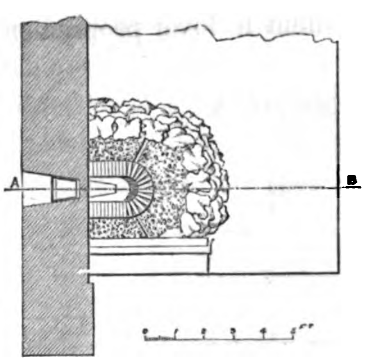


Fig. 26. — Foyer corse : coupe verticale sur A B, fig. 27.

Le fond, formé par une pierre plate, est toujours recouvert par une grande épaisseur de menu charbon. La tuyère est en cuivre, d'une forme conique très-prononcée; son œil est circulaire, de 0^m.031 de diamètre; elle est placée à 0^m.50 au-dessus du fond ou sole en pierre ; son inclinaison est de 20 degrés et la saillie de 0^m.28.

Aussitôt que le dernier lopin est formé et retiré du foyer, on éteint le feu en y jetant de l'eau ; on enlève les gros morceaux de charbon, puis on redonne le vent pour hâter le refroidissement, et l'on remue la masse dans le foyer avec le ringard, en enlevant soigneusement les scories qui ont pu rester. On dispose alors la brasque humide autour de la tuyère, en lui donnant la forme d'un bassin semi-elliptique ; le fond du bassin est à 0^m.11 au-dessous de l'orifice de la tuyère, et le grand axe de l'ellipse est dans la direction du chio à la cave, ou la face n° 3 d'un foyer catalan ; ce bassin est supporté, extérieurement, par une muraille de gros blocs de minerai (fig. 26). Dans le bassin, que nous désignerons par le nom de bassin à brasque, on empile du charbon, comme le montre la figure 26, de manière à former un puits



Echelle métrique : 0m.012 par mètre.

Fig. 27. — Foyer corse : Coupe horizontale sur A B, fig. 26.

ou cône vertical s'évasant à mesure qu'il s'élève. On choisit, à cet effet, des morceaux de charbon d'environ 0^m.05 de diamètre et 0^m.16 de longueur. On élève la muraille de minerai destiné à supporter le bassin à brasque aussi haut que le puits, en employant pour cela des morceaux plus petits (fig. 26). L'intervalle laissé entre la paroi relevée du bassin primitif et la face extérieure du puits construit en charbon, est alors réparti en trois cases, par deux cloisons verticales de charbon, qui sont élevées en même temps que les parois du puits lui-même; la case du milieu est la plus large. On les remplit avec précaution tous les trois d'un mélange de minerai concassé et mêlé de poussière; on termine en recouvrant le minerai d'une petite couche de brasque fine que l'on tasse avec soin, et on élève ce premier étage jusqu'au bord du bassin (fig. 26). Il doit être surmonté d'un autre étage contenant la même quantité de minerai, et, finalement, recouvert de braise; le niveau supérieur de l'amas est alors de 0^m.74 au-dessus du fond du bassin de brasque. Le poids de la charge totale du minerai traité dans une opération était de 526 kilogrammes.

Voici comment se conduit l'opération : on jette au fond du puits quelques charbons embrasés; on les recouvre de charbons noirs, et l'on donne une partie du vent. La flamme, qui apparaît bientôt, cesse après environ 40 minutes; les ouvriers disent alors que le minerai est à moitié *cuit*. A ce moment on donne tout le vent, et la combustion devient plus active dans le puits, que l'on entretient constamment rempli de charbon. Lorsque le grillage, c'est-à-dire la réduction du minerai est à peu près terminée, on retire « plusieurs pains de scories douces d'un bassin latéral très-rapproché de l'aire, on les écrase avec une masse, et l'on en forme une couche épaisse de 0^m.02, qui s'étend le long du bord de l'aire. »

Quelques minutes après la dernière charge de charbon, on retire les gros blocs de minerai qui forment la base du mur

extérieur, dont on transporte les débris à la place où ils doivent être cassés. Pendant ce temps, on jette beaucoup d'eau sur le foyer. On retire alors, avec une pelle courbe, la brasque formant le bassin et qui est mêlée de morceaux de minerai non agglomérés, et on l'étend sur le lit de scories pilées. Le minerai aggloméré se soutient encore de lui-même autour du puits de charbon; mais on fait écrouler avec un ringard l'étage supérieur qui dépasse le bord horizontal du bassin à brasque (fig. 26); on le retire par morceaux; les gros charbons sont mis en tas, et l'on en arrête la combustion avec de l'eau. On démolit ainsi toute la construction, et l'on trouve sous la tuyère une masse de scories. Le minerai est en grande partie agglutiné.

On divise en cinq parties égales le mélange de scories et de brasque qui forment un tas allongé sur l'aire, et sur chacune de ces parties on dépose 1/5 du minerai agglutiné; chaque portion servira à former un lopin ou massé (*massello*).

Il faut éviter, surtout au commencement de l'opération, de donner une chaleur trop forte, qui pourrait fondre le minerai. Cet accident est fort rare, mais quand il arrive, il ne reste plus qu'à briser le minerai aggloméré et à recommencer le grillage. Le charbon consumé par le grillage pèse environ le double du minerai. Un fait remarquable, suivant l'observation de M. Sagey, c'est que les morceaux de charbon qui forment le puits de brasque se conservent très-bien durant tout le cours de l'opération et que la solidité de la construction n'est jamais compromise; cependant la chaleur est très-forte, et la quantité d'air lancée dans le foyer, considérable.

Les produits de cette opération sont le *minerai aggloméré* ou *cuit*, et les *scories*, qui filtrent à travers les charbons formant la base du puits et se rassemblent au fond du bassin à brasque. On a reconnu qu'elles étaient formées par la fusion d'une argile rougeâtre qui existe en veinules dans le minerai de l'île d'Elbe. Les caractères des scories, suivant M. Sagey,

sont les suivants : bien fondues, vitreuses, transparentes, et d'un vert-olive clair ; elles empâtent des globules métalliques de fonte et une assez grande quantité de débris de charbon enduits d'une couche très-mince et d'abord peu visible, de fer métallique, mais qui se manifeste plus tard en prenant une couleur de rouille très-sensible.

Le minerai aggloméré est mis en plaques sous le marteau ; en frappant dessus avec précaution, on peut presque toujours achever le martelage à froid en feuilles minces. Il est évident que ce minerai consiste essentiellement en fer métallique.

Il reste ensuite à traiter le minerai réduit pour en faire des loupes, et à forger les loupes pour les étirer en barres ; or, ces travaux s'exécutaient dans le même foyer. On jetait dans le foyer de la brasque composée de charbon neuf et sec que l'on avait préalablement lavé pour en séparer la poussière terreuse qui s'y trouvait mêlée ; on en formait deux plans inclinés qui se réunissaient en gouttière au-dessous de la tuyère, suivant une ligne horizontale perpendiculaire à la face de tuyère ; ces plans inclinés s'élevaient à la hauteur du petit mur de chio. On entoure la tuyère de charbon rouge ; par-dessous on met du charbon non embrasé sur lequel on plaçait le lopin qui était alors au-dessus de la tuyère. Ce lopin avait la forme d'un cylindre grossier et il était soudé à l'extrémité d'un ringard dirigé suivant son axe et qui lui servait de poignée. On le retournait de temps en temps, et au bout de 20 ou 25 minutes environ, on le portait sous le marteau pour le forger. Pendant ce forgeage, on chargeait au milieu du foyer le mélange de brasque, de minerai non agglutiné et de scories pilées mentionné plus haut, et l'on y ajoutait les battitures produites pendant l'étirage précédent. On abandonnait cette charge à elle-même, et l'on continuait à forger comme s'il n'y avait que du charbon dans le foyer. On faisait quatre barres avec le lopin (*massello*) provenant du cinquième du produit d'un grillage.

L'étirage en barres durait un peu moins de deux heures, depuis le moment où le vent avait été donné. La conduite du feu se bornait à remplacer du charbon à mesure qu'il brûlait, à jeter de l'eau à la surface du foyer; enfin à dégager la tuyère en débouchant son orifice. Le lopin destiné au forgeage était toujours placé vis-à-vis de la tuyère et un peu plus haut qu'elle, pour que le vent ne tombât pas directement dessus et n'occasionnât pas un trop grand déchet par suite de l'oxydation.

Une heure et demie après le commencement de l'opération, on faisait une percée pour l'écoulement des scories très-liquides qui se rendaient dans un bassin de brasque disposé auprès du chio. La moitié du minerai était ensuite placée en avant du lit de brasque constituant le foyer propre, et à peu près à la hauteur de la tuyère; cinq ou six minutes après, on poussait ce minerai horizontalement vers le centre. Etant dès lors exposé à une chaleur très-forte, il se ramollissait, et même en quelques points il coulait en gouttes, jusqu'à ce que, par cette cause, et surtout par la combustion du charbon inférieur, ce minerai descendît au-dessous du vent, où il se réunissait au minerai non aggloméré qui avait été précédemment chargé.

La seconde moitié du minerai aggloméré était mise à la place de la première et traitée de même. On jetait de temps en temps dans le foyer des pains de scories douces (1). Quand le *massello* était parfaitement formé, on ajoutait dans le foyer environ une livre de battitures avec un peu moins de greillade, « probablement, observe M. Sagey, pour compléter la décarburation du fer. » Quelques minutes après, on arrêtait le vent, on lançait de l'eau sur le foyer, et l'on retirait la loupe. On en détachait le gâteau de scories adhérent à la partie inférieure,

(1) Ainsi appelées par M. Sagey, parce que les ouvriers admettaient qu'elles avaient pour effet d'adoucir le fer.

on la battait avec une masse de bois, et on y soudait le ringard qui servait de poignée.

On enlevait et on rejetait, comme étant de mauvaise qualité, la couche mince de scories qui se solidifiait d'abord à la surface des scories sorties par le chio et reçues dans un bassin de brasque préparé à cet effet; mais le reste, qui se solidifiait ensuite, était gardé et traité de nouveau. On n'a pas recherché la cause de cette prétendue mauvaise qualité de la couche mince supérieure : on supposait que ce pouvait être le soufre.

Le grillage et les cinq affinages du minerai réduit, etc., tels qu'on vient de les décrire, duraient exactement 24 heures. On accordait 4 heures aux ouvriers pour chacune de ces opérations. Il n'y avait dans chaque forge que quatre ouvriers, et ils travaillaient six jours de suite par semaine. Les forges n'étaient en activité que pendant sept mois de l'année; les chaleurs excessives et parfois l'insalubrité du climat obligeaient à cesser le travail à la fin de juin. Dans cet espace de temps, on ne faisait pas en moyenne plus de 260 quintaux métriques de fer en barres. Le fer produit était excellent, « ductile et très-nerveux, sans être malléable comme celui de Suède; il se forgeait à chaud et à froid, sans se fendiller. » Les frais de fabrication du fer en barres, dans une forge produisant annuellement 290 quintaux métriques, étaient de 46 fr. 31 c. par quintal métrique, et dans une autre, produisant annuellement 250 quintaux métriques, de 51 fr. 20 c. Le rendement moyen du minerai en fer marchand était seulement de 38.66 pour 100. La consommation de charbon pour une partie de fer en poids était estimée à plus de 8.88 parties de charbon en poids.

La consommation de charbon par cet ancien procédé corse est énorme et l'enseignement à en tirer ne manque pas d'importance. Il est très-utile, à notre avis, de décrire tout au long les procédés métallurgiques défectueux, aussi bien pour nous prémunir que pour nous instruire. Après l'exposé détaillé que

nous avons donné du procédé catalan, nous n'avons pas cru nécessaire de nous étendre longuement sur la théorie du procédé corse. Dans l'un comme dans l'autre, l'agent principal de réduction est évidemment l'oxyde de carbone, et la manière dont le charbon et le minerai sont arrangés dans le procédé corse est visiblement de nature à favoriser la formation de cet agent de réduction et son contact avec le minerai. Il est curieux de constater comment l'expérience développe graduellement les procédés efficaces, dans l'ignorance entière des principes sur lesquels ils sont fondés.

FONTE DU FER DANS LE STUCKOFEN.

En traitant de la fonte du fer dans l'Inde, nous avons déjà fait allusion à ce fourneau pour lequel nous n'avons point de nom, mais que nous pourrions appeler *haut fourneau à masses*, puisque ce n'est qu'un fourneau catalan développé en hauteur, sous la forme d'un puits quadrangulaire ou circulaire. Les Allemands l'appellent *stückofen* ou *wolfsofen*, parce que la grosse masse métallique qu'on retire du fond est connue sous les noms de *stück* ou *wolf*. La transition de l'ancien fourneau à masses au haut fourneau moderne a été très-graduelle, et le *stückofen* est le développement final des fourneaux dans lesquels le fer malléable était extrait directement du minerai. En augmentant les dimensions du *stückofen*, et spécialement la hauteur, on réunit les conditions favorables à la production de la fonte ; et de fait, dans le *stückofen*, malgré les soins du fondeur, il se produisait, sinon toujours, du moins généralement, une plus ou moins grande proportion de fonte. Entre le *luppenfeuer* (foyer à loupe) ou foyer catalan, et le *stückofen*, les métallurgistes allemands placent un fourneau de hauteur intermédiaire, qu'ils appellent *blaseofen* (fourneau soufflant) et *bauernofen* (fourneau rustique) (1). Ce fourneau

(1) *Lehrb. der Probier und Hüttenkunde*, Wehrle, t. II, p. 116 ; 1844.

fut primitivement employé en Norwége, en Suède et dans d'autres contrées de l'Europe; bien qu'il ait disparu depuis peut-être un siècle des deux pays que nous venons de citer, il fonctionne encore aujourd'hui en Finlande. Nous le désignerons par le nom de *fourneau à osmund*, du mot suédois *osmund*, qui désigne la loupe produite dans cette espèce de fourneau.

FOYER SUÉDOIS OU A OSMUND.

Nous sommes redevable à M. André Grill des renseignements que nous publions sur ce fourneau. En 1732, le Conseil royal des forges chargea un inspecteur des mines de lui présenter un rapport détaillé sur le procédé à osmund, qui ne se pratiquait à cette époque que dans un des comtés de la Suède. Le rapport de cet inspecteur était accompagné d'un dessin original qui représentait le fourneau, les ustensiles en usage, etc.; c'est d'après un calque de ce dessin, que M. Grill a bien voulu nous communiquer, qu'a été exécutée la gravure (fig. 28). Swedenborg a donné, dans son Traité du fer, une description du fourneau à osmund, qu'il avait empruntée au rapport fait par un Suédois, Peter Laxholm (1); il a aussi reproduit une gravure identique, dans tous les détails essentiels, au dessin communiqué par M. Grill, et qui, sans aucun doute, avait été copiée d'après le dessin original.

Description de la gravure (*fig*. 28). — ***A***. Tas de minerai de marais non grillé. ***B***. Tas de minerai en grillage sur du bois. ***C***. Tas de minerai grillé. ***D***. Sonde pour la recherche des minerais. ***E***. Râteau à charbon de bois. ***F***. Pelle en fer. ***G***. Pinces pour tirer le massiau (*osmund*) du fourneau. ***H***. Crochet servant aussi à l'extraction du massiau. ***K***. Ringard pour nettoyer le trou de coulée et l'orifice de la tuyère. ***L***. Gros marteau pour

(1) *Regnum subterraneum sive minerale*, 1734, p. 119.

forger le massiau à peine extrait. *M*, *M*. Loupe de fer « *blastra* » ou osmund, en partie fendue. *N*. Hache. *O*. Pédales du souf-

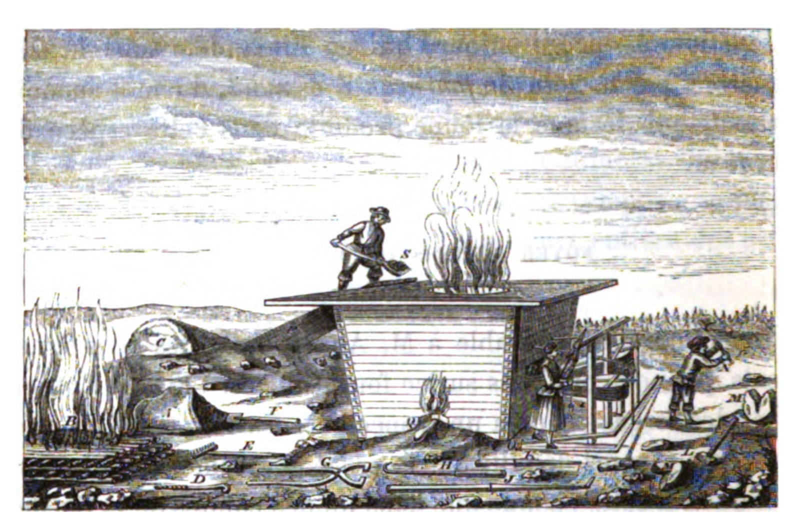


Fig. 28. — Fourneau à osmund, d'après un ancien dessin original.

flet. *P*. Pont de planches. *Q*. Trou de coulée du laitier. *R*. Tuyère. *S*. Pelle en bois pour charger le minerai.

Le minerai traité au fourneau à osmund était du minerai de

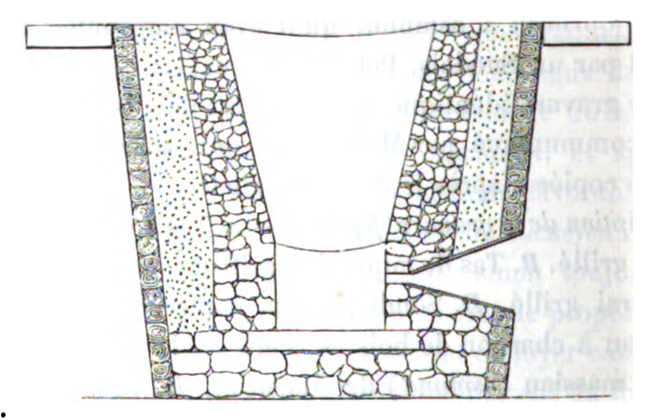


Fig. 29. — Fourneau à osmund. Coupe verticale par la tuyère, copie d'après Swedenborg.

marais, composé essentiellement de sesquioxyde hydraté de fer. Swedenborg décrit en détail le mode de gisement et d'ex-

traction de ce minerai ; nous en extrayons les particularités suivantes :

Partout en Suède, au nord comme au sud, on extrait le minerai du fond des lacs et des rivières. On le désigne sous le nom de minerai de lac (*vena lacustris ferri*). Celui d'Angermanie (ancienne province de la Suède) a une forme irrégulière ; une sorte d'éponge, d'une couleur brune (*coloris bruni*), friable sous le doigt et dont la cassure ressemble à celle du cuir fraîchement coupé ; les portions détachées du gisement sont de forme variable et quelquefois de la largeur de la paume de la main, en grains arrondis, de la dimension de grains d'orge ou de blé et même de haricots ; on le trouve non loin du rivage et il se reconstitue dans le cours de vingt ou trente ans. Pendant l'été, on ramasse dans des bateaux le minerai, au moyen de dragues ; et pendant l'hiver, on l'extrait par des trous pratiqués dans la glace. Dans tout le Smaland, on tirait ainsi des lacs le minerai qu'on convertissait en fer brut dans les fourneaux ordinaires. Le minerai est si abondant dans le Smaland et les provinces environnantes, qu'on en fait d'amples approvisionnements ; et, comme Swedenborg le fait remarquer spirituellement : « *Hic Mars uvidus amat fundos lacuum.* » Sec, le minerai est léger et poreux, et quoiqu'il ne renferme pas beaucoup de métal, il en rend pourtant de grandes quantités. Sa richesse varie beaucoup, de même que sa qualité ; une sorte produit le meilleur fer, et l'autre, du fer de qualité inférieure.

A l'Exposition de 1862, on remarquait, dans le département suédois, une collection intéressante de minerais de lac, accompagnée d'une notice dont nous tirons les renseignements suivants (1) :

On connaît jusqu'à cinq variétés de ces minerais ; leur structure est concrétionnée, et on les désigne d'après leur ressem-

(1) *On the Swedish Lake-Ores, in illustration of samples to the Great Exhibition in London*, 1862, *by C. W. Sjogréen. Ekesjo*, 1862. Voir aussi : *Beitrage zur genaueren Kenntniss des Eisenhütten wesens in Schweden*. Von dr Moritz Meyer. Berlin, p. 191 et suiv. ; 1829.

blance, comme forme et comme dimension, avec certains objets familiers, sous les noms suivants :

1° *Minerai perle*. Il rend 45 pour 100 de fer; il est très-dur et très-lourd et présente une cassure d'un brun foncé, huileuse et éclatante; il se rencontre généralement dans les lits boueux ou argileux.

2° *Minerai bardane*. Ce nom lui vient de son analogie avec la tête de cette plante; il est un peu spongieux, très-léger et rend rarement plus de 30 pour 100 de fer; il est friable et tombe en poussière en séchant; on le trouve surtout au fond des lits recouverts d'herbes.

3° *Minerai monnaie*. Il est en petites plaques rondes comme des pièces de monnaie; il est plus dense que les deux premiers; sa cassure est pareille à celle du minerai de perle; il rend jusqu'à 40 pour 100 de fer.

4° *Minerai gâteau*. Il a la forme de gâteaux ronds de 0m,05 à 0m,15 de diamètre, mous, très-légers et d'un gris foncé; on le regarde comme très-pauvre; il ne contient, en effet, pas plus de 25 pour 100 de fer et on l'emploie rarement; on le trouve dans les lits sableux ou argileux.

5° *Minerai poudre à canon*. Il a la forme de grains de poudre dont la couleur varie depuis le jaune verdâtre jusqu'au noir brillant; il est très-lourd à l'état pur et rend jusqu'à 50 pour 100 de fer approprié aux moulages; il repose sur du sable si fin, qu'il est parfois impossible de le séparer du minerai après l'avoir sorti de l'eau.

Les minerais de lac sont toujours plus ou moins mélangés d'impuretés, surtout de sable; ils en renferment quelquefois jusqu'à 30 ou 40 pour 100. Ils tiennent aussi de 20 à 60 pour 100 de sesquioxyde de fer et de protoxyde de fer et de manganèse, jusqu'à 10 pour 100 de silice, de 0.05 à 4 pour 100 d'acide phosphorique et de 7 à 30 pour 100 d'eau hygroscopique. En certains endroits on extrait du minerai qui renferme jusqu'à 20 pour 100 de manganèse.

On trouve généralement ces minerais près des bords couverts de roseaux et sur les pentes les moins profondes, en couches de 10 à 200 mètres de longueur, de 5 à 15 mètres de largeur et de 0m.20 à 0m.75 d'épaisseur. On ne les rencontre jamais dans les courants rapides ; la même variété ne se présente pas sur le parcours d'un même cours d'eau : ainsi, on trouvera en tête du dépôt la variété poudre à canon, plus loin du minerai perle et enfin du minerai gâteau ou monnaie. Le minerai se forme de nouveau très-rapidement, et on connaît tels lacs où le minerai, épuisé complétement, s'est accumulé de nouveau dans l'espace d'une vingtaine d'années, de manière à constituer des couches de plusieurs centimètres d'épaisseur. On attribue sa formation à des infusoires.

L'extraction de ces minerais mérite d'être décrite. Vers la fin de l'automne, quand les lacs sont gelés sur 5 ou 10 centimètres d'épaisseur, on procède à la recherche du minerai. On introduit une longue perche par des petits trous faits dans la glace, au-dessus des endroits peu profonds, et on en frappe le fond ; on s'assure ainsi, par le son et par la résistance, s'il y a ou non du minerai ; le mineur doit être bien rompu à cette pratique pour opérer le sondage avec succès. Il marque, au moyen de branchages plantés dans la glace, les limites de la couche qu'il découvre et acquiert ainsi la possession légale du gisement. Après avoir délimité autant de gisements qu'il se propose d'en exploiter pendant l'hiver, il attend que la glace soit devenue assez résistante ; à la limite extrême de sa concession il pratique un trou d'environ 0m.90 de diamètre, et par ce trou il fait glisser jusqu'au fond une longue perche munie d'un crible en tôle de fer perforée ; puis, avec un râteau de fer de 0m.60 de largeur, fixé de même à une longue perche, il ramasse le minerai en tas, et, avec un autre râteau, large de 0m.15, il remplit le crible dont il vide le contenu sur la glace. Le minerai est mélangé de boue, d'argile et de sable ; pour l'en séparer, il le met dans un autre crible qu'il plonge à 5 ou

10 centimètres de profondeur dans l'eau et qu'il agite de façon que les matières impures passent par le crible et laissent le minerai pur. Deux hommes sont d'ordinaire employés à ce travail ; l'un ramasse le minerai, l'autre le lave. Si le minerai est assez abondant, un homme en extrait généralement d'une demi-tonne à une tonne par jour ; ce résultat dépend non-seulement de son habileté, mais encore de la nature du minerai et du fond du lac. Pendant la plus grande partie de l'hiver, l'extraction du minerai s'opère, dans la province de Smaland, sur de grandes masses.

En 1855, la quantité totale de minerais de lac et de marais extraits s'élevait à 290 000 ctrs, ou, en chiffres ronds, de 14 000 à 15 000 tonnes (1), et en 1860, à 22 000 tonnes (2).

Voici les analyses des minerais de marais de différentes localités :

	1.	2.	3.
Silice	9.20	8.12	7.00
Acide phosphorique	10.99	3.44	0.67
Acide sulfurique	»	»	3.07
Sesquioxyde de fer	51.10	62.92	67.46
Protoxyde de manganèse		4.18	3.19
Alumine	0.41	4.60	»
Chaux	»	»	0.90
Eau	28.80	18.40	17.00
	100.50	101.66	99.29

N° 1. Minerai de Leipzick, brun jaunâtre, analyse de O. Erdmann. N° 2. Minerai de Schleswig; densité = 2.432; analyse de Pfaff. N° 3. Minerai d'Auer, Moritzburg; analyse de Bischof. La proportion d'acide phosphorique est très-faible et doit être exceptionnelle.

(1) *Das Eisenhüttenwesen in Schweden. P. Tunner. Freiberg*, p. 12, 1858.

(2) *Swedish Board of Trade Report for* 1860 (*Rapport du Conseil du commerce de Suède pour* 1860; 18 septembre 1861).

Analyses des minerais suédois de lac et de marais,
par le professeur L.-F. Svanberg.

	PO^3	SO^3	CaO	MgO	Al^2O^3	SiO^3	Fe^2O^3	Mn^2O^3	Eau. matière organique et perte.
Minerai de lac de Neij, comté de Calmare.....	1.128	traces	0.823	0.149	5.088	7.146	65.576	3.871	16.219
Minerai de lac de Hulingen, comté de Calmare.	0.701	traces	0.615	0.162	7.894	7.376	68.823	0.640	13.789
Minerai de lac de Yxern, comté de Calmare.....	0.559	0.119	1.821	0.064	3.469	5.854	69 953	1,974	16.187
Minerai de lac de Auern, comté de Calmare.....	0.259	0.031	2.344	0.088	3.096	8.536	56.475	15.881	12.290
Minerai de lac de Widöstern, comté de Jönköping	0.825	traces	2.365	0.721	5 261	8.018	68.448	3,075	10.727
Minerai de lac de Oresjös, comté de Kronoberg...	0.434	traces	0.677	0.135	2,167	10.697	57.081	16.185	12.824
Minerai de marais d'Aminne, comté de Jönköping..............	0.253	0.127	2.683	0.021	2.359	41.258	45.260	0.463	7.576
Minerai de lac de Fyllern, comté de Jonköping...	0.168	traces	0.674	0.236	4.379	6.399	60.863	11.504	15.780

Quelques observations sur la construction du fourneau à osmund sont nécessaires pour compléter les renseignements indiqués par les figures 28 et 29. Dans le dessin de Swedenborg, la coupe horizontale par le milieu de la tuyère laisse voir au fond une cavité oblongue rectangulaire, pour recevoir la loupe de fer réduit. A l'intérieur du fourneau se trouve une grande ouverture près du trou de coulée Q, par laquelle on retirait le massiau et que l'on bouchait provisoirement avec des pierres, tant que le fourneau marchait. La chemise du fourneau était en pierres réfractaires, et l'espace entre cette chemise et le revêtement en bois était rempli de terre.

Le minerai séché à l'air était grillé en tas sur du bois; le grillage durait deux jours. On fondait le minerai grillé avec du charbon de bois, et on suivait la série des opérations relatées et dont une nouvelle description serait ici superflue. Le massiau était assez pur pour être forgé aussitôt en divers objets; les parties métalliques restant après l'extraction du massiau

contenaient tant d'impuretés, qu'on était obligé de réchauffer pour les chasser avec un martelage énergique (1).

On ne pouvait produire dans un de ces fourneaux plus d'une tonne et demie de fer par semaine. Un fait digne de remarque, c'est que, malgré la forte proportion de phosphore du minerai, il donnait du fer malléable de bonne qualité, tandis que le fer obtenu avec les mêmes minerais par l'affinage de la fonte, était rouverain et de mauvaise qualité.

Le fourneau à osmund fonctionne encore en Finlande ; fait d'un grand intérêt et que les métallurgistes semblent ignorer généralement ; un autre fait encore plus remarquable, c'est qu'il fonctionne utilement à côté des hauts fourneaux de construction moderne. Le minerai traité est du minerai de lac, et c'est seulement dans les fourneaux à osmund qu'on peut en obtenir du bon fer, par la raison toute simple que le phosphore ne passe pas dans le fer, mais reste dans la scorie. Une brochure récemment publiée à Stockholm renferme des détails circonstanciés sur cette ancienne méthode d'extraction du fer ; nous lui empruntons ceux qui suivent (2) :

Au nord et au nord-ouest de la Finlande, dans le comté de Wiborg, et aux environs de Kuopio, on fond beaucoup de minerai de lac dans des fourneaux particuliers appelés *harkhyttor*, mot composé du finlandais *harkko*, morceau ou loupe, et du suédois *hytta*, qui signifie fourneau. Ces fourneaux consistent en un massif d'environ 1ᵐ.80 de hauteur, et la masse de fer réduit est, dit-on, malléable, bien que le plus souvent ce soit un mélange de fer brut et de fer malléable, qu'il faut traiter au foyer d'affinage.

On fond les minerais de lac et de marais dans des hauts

(1) « Ut autem, si quæ residuæ sint, impuriores adeoque inutiles particulæ fortiori Vulcani ministerio expellerentur, alteri coctioni eadem destinabatur quantulacunque moles ». *Ouvrage cité*, p. 119.

(2) Nous devons à M. Grill un exemplaire de cette brochure ; elle a pour titre : *Nagra Ord om Finlands Bergshandtering Af L. J. Igelstrom*. Stockolm, 1861. (Remarques sur le commerce des minerais en Finlande.)



fourneaux, de même que dans les bas fourneaux, ***harkhyttor***, et quelquefois, comme à Warkaus, dans le district de Kuopio, ces fourneaux fonctionnent les uns à côté des autres, avec une forge pour fabriquer le fer en barres. La fonte des minerais de lac et de marais dans les hauts fourneaux est surtout destinée aux fonderies et expédiée à Saint-Pétersbourg. Les bas fourneaux sont particulièrement affectés à la production du fer forgé, par la raison que les fontes des hauts fourneaux sont imprégnées de phosphore. Ainsi, un bas fourneau à Pangakoski, dans le district de Kuopio, produit annuellement avec des minerais de lacs 100 tonnes de fer forgé qui passe pour très-bon et dont on fait des clous sur les lieux mêmes.

Le nombre des bas fourneaux ou ***hark*** en activité en Finlande est de 25, à savoir :

Noms des comtés.	Nombre de fourneaux.
Kuopio.	13
Uleaborg.	6
Abo.	2
Wasa.	2
Tavastehus.	2
Total.	25

Nous ne saurions mieux terminer ce qui a trait à ce genre de fourneau qu'en présentant quelques réflexions de notre ami M. Grill : « N'est-il pas beau, dit-il, de voir la manière simple « mais pratique dont tout se passe dans ce traitement (se ré« férant au procédé représenté fig. 28)? Quand le paysan avait « fini ses travaux agricoles de la saison, il allait passer quel« ques semaines avec sa famille dans les forêts et gagner un « peu d'argent en fabriquant du fer qu'il venait vendre sur le « marché durant l'hiver. La localité représentée par la gra« vure n'est pas plus civilisée que la baie d'Hudson. L'homme « barbu est un de ces paysans dalécarliens que la tradition la « plus éloignée nous a fait connaître comme d'adroits archers. « La femme est un modèle d'industrie; de ses mains elle file

« sa quenouille et de ses pieds elle fait mouvoir le soufflet du « fourneau. » Nous avouons que ces anciens procédés métallurgiques ont un charme particulier, tant par l'intérêt qui se rattache aux choses qui ne sont plus que par les sites pittoresques où beaucoup d'anciennes usines étaient établies, et surtout par la pensée que ce qui a rendu jadis de si bons services a disparu pour toujours.

STUCKOFEN OU FOURNEAU A LOUPE.

Ce fourneau est, comme nous l'avons fait remarquer, le développement final des foyers où l'on convertit directement le minerai en fer malléable; c'est le rudiment du haut fourneau moderne. Les avantages de ce fourneau dans la fabrication de la fonte sont tels, que le massiau métallique est parfois carburé à un tel degré, qu'il faut, avant de le travailler au marteau, le soumettre à un procédé de décarburation. Jadis ils fonctionnaient dans diverses parties de l'Europe, surtout en Carniole, dans la Carinthie et en Styrie; mais Karsten rapporte qu'en 1841 ils étaient complétement abandonnés, à cause de la grande quantité de combustible qu'ils consommaient; néanmoins, il y en avait encore quelques-uns en Hongrie, ainsi qu'en Allemagne, dans le district de Henneberg (1). On trouve dans tous les anciens traités de métallurgie la description de ce fourneau et des manipulations dont il était l'objet : une des meilleures nous a été donnée par Jars dans son rapport sur les usines à fer d'Eisenerz, situées au pied de l'Erzberg, en Styrie (2).

Nous avons choisi comme exemple un stückofen qui fonctionnait autrefois dans les environs de la ville de Schmalkalden, dans la Hesse-Cassel, où l'on exploite des carbonates

(1) Karsten, *Handb. d. Eisenhüttenkunde*, t. III, p. 34; 1841.
(2) *Voyages métallurgiques*, t. I, p. 37 et suiv.; 1774.

spathiques et des hématites brunes (1). Un gisement de ces minerais, situé à peu de distance de la ville, lui a valu le nom de Stahlberg, ou montagne d'acier. Des forges et des aciéries paraissent y avoir travaillé pendant des siècles.

L'intérieur du fourneau avait la forme de deux cônes tronqués superposés et accouplés par leurs bases. La hauteur totale du fourneau était de 4m.90, mais il y en avait deux autres de 3m.70 de haut seulement. Le diamètre à la base était de 0m.75 et de 0m.45 au sommet, c'est-à-dire au gueulard; le plus large diamètre de 1m.26 correspondait exactement au milieu, ou au ventre, à 2m.45 au-dessus du fond. La maçonnerie du fourneau était d'un mètre environ plus élevée que le gueulard, elle s'évasait graduellement pour faciliter le chargement. Il y avait une tuyère à 0m.35 au-dessus de la sole; mais, après avoir longtemps marché, la sole du creuset avait été tellement rongée, que la distance s'était accrue jusqu'à 0m.50. Cette différence entre le niveau de la tuyère et la sole exerçait, dit-on, une influence extraordinaire sur le rendement, sur la qualité du produit et sur la consommation du charbon de bois. La tuyère en cuivre était horizontale et en saillie de 0m.07 à l'intérieur du fourneau. Le creuset formé d'un conglomérat siliceux descendait en pente de 0m.05 à 0m.07 vers la coulée par laquelle on retirait le massiau métallique. Cette ouverture avait 0m.60 de largeur; avant de mettre en feu, on avait soin de la maçonner avec des briques et de l'argile. Le vent était fourni par des soufflets hydrauliques.

Selon Karsten, la hauteur de ces fourneaux variait de 3 mètres à 4m.90. Le massif des uns s'élargissait régulièrement du haut en bas; mais dans la plupart il était renflé au ventre. Ces fourneaux étaient cylindriques ou carrés. Dans quelques-

(1) Nous avons emprunté les éléments de cette description à l'ouvrage suivant: *Praktische Abhandlung über die Eisen und Stahlmanipulation in der Herrschaft Schmalkalden, von Johann Christian Quantz, Hüttenschreiber zu Lerbach. Nürnberg,* 1799, p. 28 et suiv. La ville de Schmalkalden faisait partie du comté de Henneberg avant la subdivision de ce dernier. Karsten a évidemment profité lui-même de cet ouvrage pour décrire le stückofen.



uns, comme à Eisenerz, le vent était introduit du côté de la coulée, ce qui obligeait à démonter les soufflets chaque fois qu'on retirait le massiau (1).

La tuyère était ordinairement en argile et rarement en cuivre ; le diamètre n'était pas fixe. Jars indique la manière dont on les établissait à Eisenerz. On plaçait au centre de la coulée une masse d'argile pétrie en forme de brique d'environ 0m.10 d'épaisseur, qui s'avançait de 0m.25 dans l'intérieur du fourneau. A côté de cette brique, on en disposait d'autres de 0m.20 à 0m.25 de largeur sur 0m.05 seulement d'épaisseur ; on bouchait les jointures avec la même argile et l'on forait un trou avec une tige en fer à travers la grosse brique transformée ainsi en tuyère. Ce trou, de 0m.07 de largeur au dehors, de 0m.06 en dedans du fourneau, était placé à 0m.30 au-dessus du fond (2). Dans quelques localités, le trou de coulée des scories fut d'abord plus bas que dans le fourneau qui vient d'être décrit, mais on l'éleva, ainsi que le niveau de la tuyère, au fur et à mesure que l'on fondit des massiaux plus considérables.

Pour opérer dans un fourneau à masse, on commençait par boucher la coulée et on remplissait le fourneau de charbon de bois, qu'on allumait par la tuyère. Les soufflets marchaient quelque temps, puis on les arrêtait, de façon que le charbon s'allumât lentement et que le fourneau s'échauffât par degrés. Dès que le feu atteignait le haut, on augmentait le vent et l'on commençait à charger du charbon avec du minerai. En premier lieu, on ajoutait seulement un peu de minerai, mais on forçait graduellement la quantité, jusqu'à ce que le rapport voulu entre le charbon et le minerai fût obtenu, c'est-à-dire quatre mesures environ de charbon pour une de minerai. On faisait couler les scories par une ouverture pratiquée dans le trou de coulée gardé constamment ouvert. Les premières scories, ne contenant qu'une petite quantité de fer, étaient broyées

(1) *Jars*, ouvrage cité, t. I, p. 38.
(2) Ouvrage cité, t. I, p. 40.

et lavées afin d'en séparer les parties métalliques qui s'y trouvaient mêlées, et qui, suivant Karsten, n'étaient que des globules de fonte. A mesure que la masse grossissait dans le foyer, on la tenait chaude, en laissant la scorie s'accumuler en face du trou; autrement, il aurait été plus difficile de la détacher sans faire subir de graves dommages au fourneau, ce qui arrivait quelquefois. Dès que la masse de fer était formée sur la sole, ce dont le fondeur s'assurait en sondant par la tuyère, on arrêtait la charge et on laissait le feu s'affaisser; après avoir ajouté seulement quelques mesures de charbon, on arrosait d'eau les scories accumulées sur la face du trou et on les enlevait. Le chio ouvert, on retirait la masse de fer, après l'avoir dégagée tout autour et sur le fond. Souvent il arrivait que la masse ayant subi un commencement de fusion, restait figée au fond du fourneau; dans ce cas, on laissait refroidir un peu et l'on détachait la masse le mieux possible.

Cette opération devait être très-pénible. Jars l'a exposée telle qu'il l'avait vu pratiquer : on saisissait la masse avec une grosse tenaille à crampon, aux branches de laquelle était attachée une chaîne passant, à l'autre extrémité, autour d'un cylindre vertical mû par une roue à eau.

La masse, portée au milieu de la fonderie, était recouverte de poussier de charbon, pour la protéger contre l'oxydation superficielle due à l'air et la tenir chaude. On amenait la masse sous le marteau, en frappant d'abord assez doucement afin de lui donner la forme d'un gâteau rond de 0^{m}.07 à 0^{m}.10 d'épaisseur, puis on la coupait en deux parties assez égales (1), que l'on subdivisait et que l'on forgeait en barres à la manière ordinaire. Cette opération exigeait le service de huit hommes. A Eisenerz, la masse était d'abord coupée jusqu'au milieu de son épaisseur par deux hommes armés de haches. Ils y met-

(1) Suivant Quantz (ouvrage cité, p. 36), on appelait ces parties *stücke* et elles donnaient le nom au fourneau. La masse entière était désignée sous le nom de *guss;* mais cette désignation était mal appliquée, puisque la masse n'était jamais fondue.

taient ensuite des coins et, frappant avec de gros marteaux, ils parvenaient à la partager en deux, après plus d'une heure de travail.

Une masse pesait de 4 à 6 centners (200 à 300 kilogrammes) et exigeait de 216 à 234 pieds cubes (6 mètres à 6^{mc}.5) de charbon. On fabriquait en moyenne trois masses pareilles par jour, soit de 60 à 70 centners (3 tonnes à 3 tonnes 1/2) par semaine. Un stückofen employait, par journée de 8 heures, trois hommes à la fois. On ne travaillait pas le dimanche. A Eisenerz, la masse était bien plus grosse et pesait de 13 à 14 quintaux (600 à 700 kilogrammes); mais le fond du fourneau était aussi plus grand; il avait 1^{m}.20 de largeur et 0^{m}.75 de profondeur en face de la tuyère. Outre la masse proprement dite, on retirait de 6 à 7 quintaux de fer qui, d'après Jars, coulaient du fourneau et qui n'étaient que de l'acier ou de la fonte. Ainsi on tirait en tout 20 quintaux (1 tonne) de fer et d'acier dans une seule opération de 18 heures.

Dans ce cas, le métal de la loupe était, nous dit Quantz, doux, souple et malléable, quoique à un moindre degré que le fer en barres et il le considérait comme un produit intermédiaire entre la fonte et le fer en barres, mais plus voisin de ce dernier.

Dans le district de Henneberg, la conversion directe du minerai en fer malléable dans le stückofen, fut remplacée graduellement par le procédé moderne de la fonte. Mais comme, après l'introduction de la nouvelle méthode, on continuait à demander du fer obtenu directement, on fit face à ces demandes en employant le même fourneau pour produire les deux variétés de fer (1). Les fourneaux substitués aux stückofen furent appelés *blauofen* (2), et dans l'origine il n'y avait

(1) Voir *Bemerkungen über den Betrieb der Stücköfen im Hennebergischen*. Karsten's Archiv. Observations sur l'usage des stückofen, dans le district de Henneberg. *Archives de Karsten*), 1re série, t. VIII, p. 239; 1824.

(2) Nous ignorons d'où vient cette dénomination. Dans la traduction française du Manuel



entre eux aucune différence essentielle ; ces noms se rapportaient à la nature du métal produit, et non pas à une différence de construction. On le voit, rien ne saurait avoir été plus progressif que le développement du haut fourneau moderne qui ne rend que de la fonte. Quand on se servait du blauofen comme de stückofen, on n'avait qu'à pratiquer dans la partie antérieure du foyer une ouverture assez large pour extraire la loupe. La face de tuyère consistait en un bloc de fer, par exemple une vieille enclume, afin qu'elle ne fût point endommagée en retirant la loupe ; dans la face antérieure le trou d'extraction était muré avec des briques, ou avec des débris de scories, et l'on bouchait ensuite les joints avec des morceaux de briques calfeutrés avec de l'argile. La tuyère était disposée de manière à faire le moins de saillie possible dans l'intérieur du fourneau, afin de ne pas être aisément déplacée pendant la sortie de la loupe.

Les matières principalement employées étaient les scories riches formées dans la conversion de la fonte en fer malléable ; mais on y ajoutait des battitures de forge, et quelquefois de l'hématite rouge, dont la proportion ne dépassait jamais 1/4 de la totalité.

La condition favorable à la formation de la fonte dérive du contact prolongé, à une haute température, du métal réduit en présence du carbone, ce que l'on atteint en augmentant la proportion de charbon relativement aux matières ferrifères. Par conséquent, pour obtenir du fer malléable, on diminuait la proportion de charbon, ou, en d'autres termes, on faisait porter au fourneau une plus lourde *charge* de minerai. Mais une condition essentielle du stückofen, c'était de laisser les scories couler librement pendant l'opération, afin que la loupe, en

(*Handbuch*) de Lampadius, ce mot est rendu par *fourneau bleu*. (*Manuel de Métallurgie*, etc. Paris, t. II, p. 123 ; 1840.) — *N. B.* Ce mot vient, suivant le dictionnaire allemand de Mozin, de ce que ces fourneaux étaient destinés plus spécialement à fondre le minerai qu'on appelle en allemand *eisenblau*, mot à mot *bleu de fer* ; ou *sidérotite*, minéral de fer *azuré* ou phosphaté.

s'agglomérant dans le foyer, ne fût jamais couverte de scories, ni soustraite par là à l'action du vent.

Nous présentons ici l'analyse que Karsten a donnée d'un échantillon de scories riches traitées dans cette opération, et celle d'un échantillon de scories qui accompagnent la formation de la loupe, et dont on fait, comme nous l'avons dit plus haut, la coulée :

	1.	2.
Silice.	11.10	29.1
Alumine.	0.09	4.3
Chaux.	0.13	2.6
Magnésie.	1.05	9.2
Protoxyde de fer.	84.30	51.7
Protoxyde de manganèse. .	2.80	2.9
Alcali.	Traces.	Traces.
	99.47	99.8

Dans les scories n° 2, le rapport entre l'oxygène de la silice et celui de toutes les bases est presque :: 5 : 6. Ces analyses sont instructives en ce qu'elles montrent l'énorme quantité de fer entraînée par les scories pour favoriser la production du fer de qualité supérieure.

PROCÉDÉ CLAY.

Nous sommes redevable de la description de ce procédé à notre ami M. Denham Smith, qui dirigeait lui-même en grand les essais dont nous allons rendre compte. Bien que ce procédé n'ait pas réussi, il est important d'en noter les résultats, car le succès, dans les opérations métallurgiques surtout, ne s'obtient, le plus souvent, qu'après plusieurs échecs.

« Le fer métallique spongieux cru, provenant de l'hématite riche chauffée dans du charbon de bois en poudre, a une grande propension à se souder : tel est le principe des brevets de M. William Neale Clay (1) pour la fabrication du fer forgé

(1) M. Clay a pris deux brevets : le premier en 1837, 19 décembre, n° 7518; le second en 1840, 31 mars, n° 8459.

avec le minerai cru, sans l'intervention du haut fourneau. Le procédé était fort simple : on devait choisir les meilleures variétés d'hématite rouge, les concasser en morceaux de la grosseur d'une noix, les mélanger avec 1/5 de leur poids de charbon de bois, de coke, de débris de houille ou autres matières charbonneuses; on soumettait ce mélange au rouge clair dans une cornue d'argile ou dans tout autre récipient convenable, jusqu'à la réduction du minerai à l'état métallique. Quand la réduction était complète, le fer spongieux était transporté directement dans un four à puddler, avec ou sans addition de 5 pour 100 de coke environ; on en faisait une balle que l'on cinglait sous le marteau et qu'on laminait, à la manière ordinaire, sous forme de fer marchand.

« Cette méthode de fabrication directe du fer forgé avec le minerai fut expérimentée d'abord dans une petite forge près de Glasgow, et ensuite plus en grand à Liverpool. Commercialement parlant, l'échec fut complet. On obtenait du fer, quelquefois même d'une excellente qualité, doué d'une ténacité très-grande, et spécialement propre à la tréfilerie et à la fabrication des câbles; mais il manquait d'homogénéité, et il était souvent si rouverain, que les forgerons refusaient de le travailler. Toutefois, la principale cause de l'insuccès résidait dans la durée de la réduction du minerai et dans la dépense en combustible et en main-d'œuvre; c'était aussi le grand nombre des cornues ou des fours de réduction, d'un entretien dispendieux, nécessaires à l'alimentation des fours à puddler d'une forge même secondaire.

« On tenta alors de réduire directement le minerai dans le four à puddler; mais ici encore la dépense de temps, de combustible et de main-d'œuvre, la perte de minerai à l'état de scories, relativement à la proportion de fer produit, étaient si considérables, que cette méthode fut promptement abandonnée pour un procédé mixte par lequel on traitait dans le four à puddler de la fonte en saumon avec un mé-

lange d'hématite et de matières charbonneuses. Cette dernière méthode fut adoptée dans un petit nombre de forges du nord de l'Angleterre, notamment à Workington, affectées exclusivement à ce traitement. Après bien des essais, on trouva que le mélange le mieux approprié, concurremment avec la fonte en saumon, consistait en hématite desséchée et écrasée (assez fin pour passer par un crible dont les trous eussent $0^m.008$ environ), mêlée avec environ 1/3 de son poids de menus de houille, lavés dans une saumure ou solution de cendres sodées; on n'employait que ce qui surnageait. A ce mélange d'hématite et de menus de houille, on ajoutait ordinairement, pour chaque 50 kilogrammes de minerai, environ 1^k,800 d'argile réfractaire, 115 grammes de cendres sodées et 170 grammes de sel commun : l'expérience semblait démontrer que cette addition donnait aux scories plus de fluidité, et rendait en même temps les massiaux plus doux et plus souples au laminage. On versait en tas sur la sole du four à puddler une quantité de ce mélange correspondant à 50 kilogrammes d'hématite; après l'avoir chauffé environ 20 minutes, le registre fermé, on empilait autour de ce tas le reste de la charge, consistant en 200 kilogrammes de fonte en saumons. Cette dernière, en fondant, aidait à la réduction de l'oxyde de fer, et quand elle était opérée, le puddleur conduisait l'opération à la manière ordinaire. On trouvait avantageux, immédiatement avant la mise en balle, de jeter sur la masse encore bouillante, telle qu'on venait de l'extraire, de 100 à 200 grammes de salpêtre : cette dernière substance, à cause surtout de l'augmentation subite de chaleur, mettait le puddleur à même de former plus rapidement la balle; et par la même raison, les scories devenant plus fluides, les balles se cinglaient et se laminaient mieux. A part cela, il n'y avait aucune différence entre ce traitement et celui des barres puddlées par les procédés ordinaires, car on les coupait, on les mettait en paquets, on les réchauffait et on les laminait sous forme de barres marchandes. L'héma-

tite provenait d'Ulverstone et du voisinage de Workington. La fonte, tirée pour la plus grande partie d'Écosse, consistait partie en fonte d'hématite et partie en fonte blanche.

« Le fer marchand était assez homogène et de belle qualité; il était coté, à Liverpool et à Carlisle, à peu près au même prix que le fer des meilleures fabriques du pays de Galles. On fit par ce procédé plus de 100 tonnes de fer, mais avec une perte considérable. Il est difficile de déterminer d'une manière positive si l'on doit attribuer une partie de cette perte au mode de traitement, quand on réfléchit que la forge Workington ne fut ouverte que neuf mois environ, et que dans cette perte figurent toutes les dépenses accidentelles, les frais d'essais préliminaires, etc., qu'entraînent l'ouverture et la fermeture de toute usine importante; en outre, la houille de Workington n'était pas assez bitumineuse pour la production du fer, de sorte que le déchet dans les fours à réchauffer était bien au-dessus de la moyenne. Il est vrai qu'avant la fermeture de l'usine, ce déchet fut bien diminué, grâce à l'introduction d'un jet de goudron dans les fours, pendant la chauffe des paquets, avant la passe finale. Quoi qu'il en soit, tout en faisant la plus large part aux sources de perte mentionnées, et à d'autres plus faibles et faciles à prévenir (toutes choses auxquelles on n'est point exposé avec un travail suivi), il est probable que les mêmes causes qui s'opposaient dans le début au succès de ce procédé, c'est-à-dire à la conversion directe du minerai, devaient également détruire toute économie dans le procédé mixte, puisque, pour faire une tonne de barres puddlées, il fallait sans contredit plus de temps, de main-d'œuvre et de combustible que lorsqu'on recourait directement à la fonte seule dans le four à puddler; cette différence en plus faisait probablement plus que contrebalancer l'économie de fonte réalisée. A Workington, même quand la forge était en bonne marche, il était rare que l'on puddlât dans un seul four plus de dix charges de fonte et de minerai dans les vingt-quatre

heures, et comme le combustible, les salaires et toutes les autres dépenses étaient les mêmes pour ces dix charges, que si l'on avait fait dans chaque four le nombre ordinaire d'opérations, il est fort douteux que cet excédant de dépenses fût couvert par l'économie de fonte et par un plus fort rendement de fer. Ce rendement est le résultat le plus satisfaisant que présentent les livres de la forge; car, tandis qu'au commencement des travaux, 1 tonne de fonte et 250 kilogrammes d'hématite ne donnaient que de 800 à 850 kilogrammes de barres puddlées, le rendement moyen s'éleva, avant la fermeture de l'usine, à près de 1 tonne de barres puddlées pour 1 tonne de fonte et 250 kilogrammes de minerai, et quelques-uns des plus habiles puddleurs obtenaient fréquemment un poids de barres puddlées supérieur au poids de fonte employée. En somme, pour juger le procédé, il est probable qu'une opinion défavorable est la seule raisonnable; car il faut remarquer, outre ce qui a été déjà dit, qu'après avoir été partiellement adopté et appliqué dans quelques forges autres que celles de Workington, il est maintenant abandonné, bien que le droit de brevet soit périmé depuis longtemps; nulle part il a survécu, quoique l'on pût s'en servir partout sans contestation.

Rendement et prix de revient. — La forge et le laminoir de Workington fonctionnèrent depuis le 4 octobre 1845 jusqu'au 15 juillet 1846; c'est-à-dire un peu plus de quarante semaines : pendant cette période on fabriqua 1 035 tonnes de fer fini en barres.

On avait employé en matières premières :

	Tonnes.
Fonte en saumons et déchets.	1194.225 kil.
Fer brûlé et vieilles cornues.	31.500
Hématite rouge pour mélange.	254.600
— pour réparer les fours. .	387 »
Houille et menus de houille.	3730.500
Copeaux de fer forgé.	239.600

On eut pour produit 1 297 tonnes de barres puddlées, dé-

chets compris, soit une moyenne de 1 260 kilogrammes de barres puddlées par tonne de fer marchand. Le prix de revient brut étant, tous frais compris, de 308 fr. 55 la tonne, le prix net, déduction faite de mauvaises créances, etc., est de 279 fr. 05 par tonne de barres finies, dont le prix de vente moyen avait été de 229 francs par tonne.

Par ce qui précède, on constate que pour faire une tonne de fer en barres, on employait en moyenne :

1 202 kilogrammes de fonte à 96 francs par tonne.	115 fr.	40
193 — de fer à 110 —	21	25
631 — de minerai rouge à 20 fr. 30 par tonne.	12	80
3 050 — de houille à 9 fr. 80 par tonne. . . .	29	90
Prix des matières premières.	179 fr.	55
Salaire des ouvriers (par tonne).	46	75
Loyer (pendant le travail).	9	40
Appointements.	4	70
Droits de brevet..	3	55
Frais généraux et imprévus.	35	10
Prix de revient net par tonne de fer marchand vendue sur le marché.	279 fr.	05

Voici maintenant l'évaluation des dépenses réelles faites par le même procédé, dans une forge du Lancashire. Ces détails ont été fournis par les propriétaires de la forge et calculés en se basant sur les prix des matières premières mentionnés plus haut :

1 250 kilogrammes de fonte à 96 francs la tonne. . .	120 fr.	»
382 — de minerai rouge à 20 fr. 30 c. la tonne.	7	75
76 — de coke à 31 fr. 45 c. la tonne. . .	2	30
2 750 — de houille à 9 fr. 80 c. la tonne. .	26	95
Prix des matières premières.	157 fr.	00
Salaires des ouvriers.	34	25
Droit de brevet.	3	75
Loyer, appointements, frais généraux et imprévus. . .	22	95
Prix d'une tonne de fer en barres fini.	217 fr.	95
Frêt et divers..	7	50
Prix net par tonne de fer fini.	225 fr.	45

PROCÉDÉ RENTON.

En 1851, M. James Renton a pris aux États-Unis un brevet pour le procédé décrit par le professeur Wilson dans un rapport au gouvernement britannique sur l'Exposition industrielle de New-York (1). C'est de ce rapport que nous extrayons les renseignements suivants. Le procédé fut appliqué industriellement à Cincinnati (Ohio) et à Newark (New-Jersey), dont les usines furent visitées par le professeur Wilson. Dans la première, les fours étaient en voie de construction, et dans la seconde ils étaient en pleine marche. Le four ressemblait à un fourneau à puddler ordinaire. A l'extrémité, une chambre en briques réfractaires, haute de 3 mètres, longue de $1^m.80$ et large de $0^m.17$, n'était en réalité qu'un grand moufle ou cornue verticale, enveloppée extérieurement par les carnaux du four. On la remplissait de 600 kilogrammes d'un mélange soigneusement fait de 20 à 25 pour 100 de minerai et de 75 à 80 pour 100 de houille, l'un et l'autre finement broyés; ce mélange y devenait assez chaud pour que la réduction du minerai s'y opérât. Le minerai réduit, on le déchargeait, suivant les besoins, du fond de la chambre sur la sole même du four, où il était soumis à la chaleur de soudure et mis en balles que l'on martelait et que l'on étirait à la manière ordinaire. On se servait alors d'hématite contenant environ 35 pour 100 de fer, et les balles pesaient 36 kilogrammes chacune, c'est-à-dire environ autant que les balles dans le puddlage ordinaire. Il a été cependant constaté que le rendement moyen s'élevait à 45 pour 100, et le poids des balles à 45 kilogrammes. Le prix de revient d'une tonne de massiaux s'établissait ainsi :

(1) *New-York Industrial Exhibition. Special Report of Professor Wilson.* (Exposition industrielle de New-York. *Rapport spécial* du professeur Wilson, présenté à la Chambre des communes, conformément à sa demande, en date du 6 février 1854).



2 1/2 tonnes de minerai à 20 francs. . . .	50 fr.
1 1/2 — de houille pour le four. . . .	30
Houille pour la chambre de réduction. . .	6
— pour la machine.	10
Soudage et traitement.	25
Martelage [cinglage?] 7 fr. 50 c.; main-d'œuvre, 14 fr. 50 c.	22
	143

Le professeur Wilson fait les remarques suivantes : « Sans nous arrêter à ces chiffres, qui se rapportent peut-être aux conditions les plus favorables de la fabrication, et qui, par conséquent, varieront dans d'autres circonstances, nous devons admettre que M. Renton a beaucoup fait pour introduire un procédé pratique pour la transformation directe du minerai en fer ouvré. L'opération avait lieu, il est vrai, sur une échelle relativement insignifiante, et la quantité de fer produit était assurément petite; mais, si le principe est exact quant à la production et au prix de revient, on pourrait augmenter la capacité des fours et, dans tous les cas, en accroître à volonté le nombre. Le principal obstacle paraît être dans la formation de la balle au four, de manière à ne pas y incorporer du minerai imparfaitement décomposé, qui nécessite un surcroît de travail au martelage. »

Le professeur Wilson fait mention d'un autre établissement d'une certaine importance, que l'on construisait alors à Motthaven, près de New-York, pour appliquer le procédé de réduction breveté par Harvey et analogue en principe à celui de Renton. On mêle de l'oxyde de fer magnétique avec du charbon de bois, l'un et l'autre en poudre grossière; on place ce mélange sur des planches ou des plateaux de stéatite inclinés dans une chambre qui communique avec un four à souder ou à baller. Un feu placé au bas de la chambre chauffe suffisamment le mélange pour le rougir, et la flamme, léchant la surface des plateaux, aide à la réduction du minerai, que l'on fait ensuite glisser sur la sole du four à

puddler pour l'y former en balle à la manière ordinaire. Quatre fours, capables de produire chacun 5 tonnes par jour, étaient en voie de construction.

MM. Cooper et Hewitt, de New-York, ont bien voulu nous adresser, à la date du 26 juillet 1855, la note suivante sur le procédé Renton : « Il y aura peut-être quelque intérêt pour vous d'apprendre que le procédé Renton a échoué, et qu'il a été, comme nous avions toujours cru qu'il le serait, abandonné dans notre pays. »

Procédé Renton en France. — Il est à regretter, croyons-nous, que le procédé Renton, qui n'est autre que la méthode catalane ou directe transportée dans le four à puddler, n'ait pas réussi à se développer aux Etats-Unis. Les essais que nous avons eu occasion de suivre en 1856-57 à la Villette, près de Paris, nous avaient fait mieux augurer du succès de cette méthode.

Le délégué de l'inventeur, chargé de monter les appareils et de conduire les expériences à la Villette, n'avait pu réussir à démontrer les avantages pratiques du procédé, lorsque feu Paillette, dont les travaux métallurgiques attestent l'expérience, assisté par l'un de nous, fut appelé à prendre la suite des essais, dont nous rappelons ici les résultats, plutôt à titre de curiosité qu'autrement.

Les minerais sur lesquels on avait travaillé provenaient de Al-Karezas, près de Bône, de l'île d'Elbe, de Sommorostro, de l'Hérault, de la Voulte (Ardèche), de Narcy (Haute-Marne), de Saint-Florent et de Chanteloup (Cher). Les combustibles employés avaient presque toujours été des cokes cuits en vingt-quatre heures dans les fours Buddicom, des houilles anglaises en morceaux et des charbons de bois de bonne qualité.

D'après les instructions du délégué de M. Renton, tous les minerais, qu'ils fussent mouillés ou non, et à quelque variété qu'ils appartinssent, étaient broyés entre des cylindres fixes et passés sur un crible en toile métallique à mailles de $0^m.002$. La ténuité du minerai, qui entraînait une grande dépense d'argent et de main-d'œuvre, offrait dans les colonnes de mélange, ayant une hauteur de $2^m.40$, un obstacle trop grand au passage des gaz et amenait l'engorgement des cornues.

Le four, construit par le représentant de l'inventeur, offrait le grave inconvénient d'une sole en plaques de fonte très-minces soutenue par des carnaux, également en fonte, trop étroits pour permettre à l'air froid de circuler librement dès le commencement des opérations. Les joints de la sole correspondant à ces carnaux s'encombraient de scories par le moindre défaut d'assemblage, et les puddleurs éprouvaient des difficultés à faire couler les laitiers par le chio placé à l'avant sous la porte de travail. Le four étant à cendrier fermé par une porte, et la combustion s'opérant à l'aide

d'un ventilateur, la grille présentait des dispositions telles, que les matières scoriacées l'engorgeaient et que le décrassage était pénible.

Enfin la flamme du four Renton sortait de l'intérieur dans une cheminée en éventail pour entrer ensuite dans les carnaux qui entourent les caisses de réduction et se réunir ensuite vers une cheminée centrale de peu de hauteur. La distribution des flammes devait être réglée au moyen de registres et de petits diaphragmes voûtés, placés au nombre de trois sur toute la hauteur des compartiments de réduction. Le délégué n'avait pas fait établir de diaphragmes, et de plus les registres en fonte, trop minces, avaient été mis de suite hors de service. Enfin la cheminée centrale avait des proportions fort peu en harmonie avec la capacité de l'appareil.

Le résultat final avait été que, avec le mode de réduction dont la durée variait de trois à quinze jours, le délégué n'avait obtenu aucun rendement pratique, ni même aucune indication théorique précise.

Dans ces circonstances, Paillette fit monter une préparation mécanique, et construire, sur de meilleures données, un four où les inconvénients signalés furent en partie évités, mais dont les dimensions intérieures ne pouvaient être appliquées qu'à des minerais d'un ordre déterminé, et où la plupart des cornues indiquées par l'inventeur chauffaient le plus souvent en pure perte.

Ce four, au total, se composait d'un four à puddler, surmonté d'une chambre de mêmes dimensions que le massif du four, construite en maçonnerie de briques réfractaires, haute de 1m.30 environ. C'est dans cette chambre chauffée par les gaz, à leur sortie du four, que se trouvaient placées verticalement un certain nombre de cornues, convenablement espacées, pour permettre par des chicanes la circulation facile des flammes. Ces cornues, pourvues chacune d'un petite trémie, débouchaient par la partie inférieure dans une trémie plus grande ayant la forme d'une pyramide renversée, dont le sommet, muni lui-même d'un registre, aboutissait au four à puddler, au centre de l'extrados de la voûte. L'ouverture de chaque creuset débouche sur l'aire qui forme la partie supérieure de la chambre, de façon à pouvoir charger le minerai sans perte. Pendant l'opération, une brique enduite d'argile ferme les cornues. Le cendrier du four est armé d'un ventilateur faisant de 700 à 800 tours par minute, pour activer la combustion des gaz au moment de la chute du minerai sur la sole. La cheminée centrale est elle-même pourvue de registres que l'on ferme plus ou moins dans ce moment.

Les cornues sont chargées plus ou moins, au fur et à mesure de leur défournement; chacune reçoit de 15 à 20 kilogrammes de minerai broyé et grillé, avec un mélange de charbon pilé et de sciure de bois, *qui a pour objet d'empêcher l'agglomération*. Chaque mélange séjourne de 4 à 5 heures, suivant la position respective des cornues.

Les seules instructions laissées par l'inventeur en dehors de son brevet se bornaient aux suivantes :

« Si les minerais renferment plus de 10 pour 100 de matières terreuses, « ajoutez plus de manganèse ou plus de sel marin. Ajoutez en même

« temps, à chaque chaude, et en temps opportun, c'est-à-dire avant de laisser « tomber le minerai, des battitures de marteau avec celles plus pures des cy- « lindres : on a ainsi de meilleures scories. A mesure que la chaleur aug- « mente, mélangez le minerai et les scories désoxydantes, de manière que « le minerai des cornues donne tout son rendement. »

L'inventeur indiquait, comme chiffres de mélange, 23 de charbon pour 100 de minerai, sans désigner la nature du combustible. Quant au minerai, « il « devait être de la première qualité; on ne devait pas en employer moins de « 50 pour 100, et s'il ne contenait pas 4 ou 5 pour 100 de manganèse, il « fallait les ajouter, en même temps que 1/2 pour 100 de sel dissous, pour « asperger le minerai. »

Un procédé dont les réactions chimiques seules eussent été basées sur l'emploi du sel marin et de l'oxyde de manganèse, rentrait dans le système de puddlage de Schaffaütl, décrit dès 1834. C'est donc en dehors de ces conditions que les essais furent dirigés. Les résultats obtenus après bien des tâtonnements et des fausses manœuvres de tout genre, pendant une marche uniforme de neuf mois environ, méritent d'être relatés :

Préparation des minerais. — Dans une usine convenablement montée, la préparation mécanique des minerais devrait se borner, après le triage opéré comme d'habitude à la sortie de la mine et le grillage, à les casser au marteau, de la grosseur des matériaux du macadam, à les passer par des cylindres à leviers qui achèveront de les concasser grossièrement, et à un des cribles de classification, pour de là les porter au four.

Cornues de réduction. — La forme préférable à donner aux cornues ou tubes serait celle d'un vase légèrement pyramidal, avec la grande base sous les registres. Ces cornues ou appareils de réduction, au lieu d'être composées, comme les caisses à cémenter, de nombreuses briques à emboîtements très dispendieuses, pourraient être fabriquées en une ou deux pièces, de manière à pouvoir être réparées ou changées facilement.

Four à puddler. — Le four à puddler devrait être mis en forme de four bouilleur ou bouillant, avec sole en minerais triés au lieu de scories, afin de diminuer le déchet en fer et de se conformer au précepte à peu près théorique que, pour la scorification de 100 parties de substances terreuses, il faut compter sur une consommation de 260 parties de protoxyde de fer, représentant 200 parties de fer métallique. Le four devra varier aussi de dimensions, suivant les minerais et leur plus ou moins de fusibilité. Ainsi, le four construit par Paillette, très-bon pour les minerais de Sommorostro, aurait dû être agrandi quelque peu pour les oxydulés de Bône.

Rendement. — Dans les conditions défectueuses où l'on expérimentait, le rendement, qui avait très-souvent excédé 30 pour 100, s'est élevé plus d'une fois au delà de 40, et, de temps en temps, selon les soins du puddleur, il a été, en fer brut, de près de 50 pour 100. Les minerais qui se comportaient le mieux et donnaient les meilleurs résultats, étaient les oxydulés, les minerais de Sommorostro et ceux de l'île d'Elbe. Quant aux hydroxydes du

Cher et de la Champagne, on n'est jamais arrivé à des résultats satisfaisants. Sans sel, sans manganèse, et par une bonne marche assurée par un habile puddleur, mais sans les perfectionnements suggérés plus haut, le rendement était de 1/4 à 1/3 en sus de celui des forges catalanes. Quelques expériences particulières, mais pas assez nombreuses, avaient démontré jusqu'à l'évidence que si l'on puddlait dans le fourneau, bien préparé, une certaine quantité de fonte dans laquelle on fit descendre, à une époque déterminée, les minerais des appareils réducteurs, on obtenait un rendement en fer beaucoup plus considérable, sans que le déchet de la fonte fût aussi fort qu'avec du minerai traité seul.

Opération. — Le mélange de minerais à gangues se servant réciproquement de fondant, n'offrait pas une réduction tellement fixe pour chacun, qu'on pût compter sur des résultats tracés par la pratique habituelle des usines. Chaque minerai ne devait pas, suivant leurs dimensions, passer plus d'un certain nombre d'heures dans les appareils réducteurs. En dépassant le terme indiqué par l'expérience, on brûlait le fer et il en résultait des scorifications qui se manifestaient dès l'entrée dans le four, même avec un feu très-fumant.

Le charbon fin, trop facilement combustible, ne produisait presque aucun effet ; le coke très-dense ne réduisait pas les minerais tendres, tandis qu'il était bon pour les minerais durs.

A la suite des observations résultant d'une pratique réussie du procédé Renton, et fondées sur des chiffres qu'il est inutile de reproduire, Paillette avait formulé les conclusions suivantes, que nous empruntons au mémoire inédit rédigé d'accord avec nous et qui n'ont plus qu'un intérêt rétrospectif :

Conclusions. — L'appareil Renton aurait dû permettre de traiter facilement tous les minerais de fer dont les gangues siliceuses ne dépassent pas de 7 à 10 pour 100 de la masse ; il aurait dû être basé sur le soudage du fer préalablement réduit et descendu tout chaud dans l'intérieur d'un four à réverbère avec les précautions ordinaires. Avec cet appareil, les bas foyers et les fourneaux catalans ordinaires auraient pu produire une quantité de fer métallique beaucoup plus grande que celle fournie jusqu'à présent. Les fers produits sont le plus généralement nerveux. En faisant descendre du minerai préalablement réduit dans les tubes, sur un bain de fonte en partie affinée dans le four à réverbère, on obtient des fers plus grenus et, selon que la sole était ou non en minerais plus ou moins manganésés, des fers forts ou des aciers bâtards.

L'application de cette méthode n'exigeait pas de grands changements aux habitudes actuelles du puddlage ; avec certaines dispositions et certains minerais, elle permettait de réduire les matières nécessaires à l'alimentation de deux fours et de produire de la vapeur avec la chaleur excédante. Enfin, elle exigeait un fonds de roulement peu considérable ; un ou plusieurs fourneaux pouvaient être arrêtés selon les besoins, chacun ne nécessitant, pour reprendre sa chaleur normale, que de 32 à 45 hectolitres de houille.

Comme résultats économiques, la méthode de Renton, satisfaisante pour les minerais à haute teneur, surtout à proximité de la houille, offrait dans beau-

coup de circonstances des avantages notables sur les prix ordinaires du fer puddlé en barres, point auquel il faut arrêter les comparaisons, puisque les autres dépenses sont communes à toutes les usines marchant à la houille ; et ces avantages pouvaient s'accroître encore, suivant les localités, en perfectionnant les appareils. (*Note des Traducteurs.*)

PROCÉDÉ CHENOT.

A la première Exposition internationale de Londres, en 1851, on exposa ce que l'on appelait des « éponges métalliques, » ainsi que des échantillons de fer et d'acier extraits « de ces éponges sans fondre le minerai (1). » Elles consistaient en fer métallique réduit directement, de l'hématite brune, par la cémentation au charbon de bois ; elles étaient en morceaux susceptibles de prendre, sous le brunissoir, l'éclat métallique et la couleur du fer. Un métallurgiste nous exprima, à cette époque, sa confiance dans la valeur du procédé Chenot, notamment pour la fabrication de l'acier fondu, dont le prix reviendrait, selon lui, à 40 pour 100 moins cher que l'acier de Sheffield.

A. Chenot a figuré également à l'Exposition de Paris en 1855, et l'une des grandes médailles d'or fut décernée à son invention (2), que quelques membres du jury considéraient comme « la plus grande découverte métallurgique du siècle. »

En 1856, quatre brevets furent pris en Angleterre (3).

A l'Exposition de Londres, en 1862, il y eut quelques échantillons et un petit spécimen « du procédé Chenot ; » un échec plutôt qu'un succès ; le tout méritait peu d'attention.

D'après M. Grateau, qui a publié un long et très-élogieux mémoire sur la fabrication de l'acier Chenot (4), des usines ont été fondées dans les localités suivantes : à Baracaldo (près de

(1) *Catalogue officiel*, France, n° 119.

(2) Cette décision donne lieu, dans le texte de l'auteur, à une revendication et à des appréciations que nous supprimons. (*Note des Traducteurs.*)

(3) A. D. 1587, 1588, 1589, 1590.

(4) *Revue universelle*, Paris et Liége, 4e livraison, p. 1-62; 1859.

Bilbao) Espagne, 1852; à Clichy-la-Garenne, près de Paris, 1855; à Couillet, près de Charleroi (Belgique), 1856; à Pontcharra, dans l'Isère, 1856, et à Hautmont, dans le département du Nord (France), 1857. Plus tard, en 1859, de nouveaux établissements devaient s'élever en Russie, « la fabrication ayant pris le caractère vraiment industriel des méthodes arrivées à terme. » Voici, à titre de renseignement, l'exposé succinct du procédé de fabrication tel qu'il se pratiquait à Hautmont.

Supposons le minerai convenablement pur, soit naturellement, soit par suite d'une préparation mécanique. S'il est en roche, on le casse en fragments d'environ 30 centimètres cubes; mais s'il est pulvérulent, soit par sa nature (minerais oolithiques, etc.), soit autrement, on l'agglutine par compression, en lui ajoutant, dans quelques cas, des matières réductrices : par exemple, 3 pour 100 de résine. Dans cet état, on le charge au four de réduction avec plus de charbon de bois qu'il n'en faut pour éliminer de l'oxyde de fer tout l'oxygène contenu. En pratique, pour un minerai tenant 55 pour 100 de fer, on charge 1 1/4 ou 1 1/2 fois son volume de charbon de bois, soit en poids 190 parties de charbon de bois pour 1000 de minerai.

Le fourneau de réduction consiste en un dé en maçonnerie, surmonté d'un tronc de cône à section elliptique (1). Le dé est percé de deux galeries à angles droits, laissant quatre piliers aux angles, sur lesquels reposent des voûtes supportant les foyers. Dans l'intérieur, sont construites deux cornues ou chambres verticales rectangulaires de 2 mètres de longueur sur $0^m.50$ de largeur et $8^m.50$ de hauteur. Au-dessous du niveau du sol, se trouve une fosse destinée à recevoir l'appareil de déchargement. La hauteur du fourneau entier jusqu'au niveau du sol est de 13 mètres, et jusqu'au fond de la fosse, de $14^m.20$. Les cornues s'élargissent un peu à la partie inférieure, afin de

(1) La construction d'une des cornues du four à coke d'Appolt donne une juste idée de la chambre de réduction du four Chenot. Voir *Métallurgie*, t. I, p. 262.

faciliter la descente de la charge réduite. Autour de chaque cornue règne une série de carnaux verticaux, communiquant par le bas avec les foyers, et par le haut avec une galerie qui débouche en plein air. La construction tout entière est solidement reliée par des armatures en fer. Les briques spéciales employées pour les cornues s'emboîtent, à la surface supérieure, les unes dans les autres, au moyen de bourrelets ou de cordons correspondant à des rainures semblables sur la surface inférieure, ce qui prévient tout déplacement latéral.

Si l'on retirait le fer réduit pendant qu'il est encore brûlant, ou même seulement chaud, le contact de l'air l'enflammerait et l'oxyderait de nouveau. Pour obvier à cet inconvénient, au-dessous des cornues, se trouve une caisse en tôle prismatique, de $0^m.002$ d'épaisseur et de $4^m.50$ de longueur, appelée le *refroidissoir ;* plus bas encore existe une autre caisse en fonte, percée de trous sur une face, pour laisser passer les barreaux d'une grille, et offrant sur la face opposée un renflement ou rainure pour loger les extrémités de ces barreaux. Ceux-ci sont au nombre de 50, de $0^m.018$ de diamètre et espacés de $0^m.020$. Le refroidissoir peut, au besoin, être entouré d'une seconde caisse traversée par un courant d'eau froide, afin d'activer le refroidissement de l'éponge et de pouvoir faire passer dans le même temps un plus grand nombre de charges. Sous le refroidissoir et au niveau du sol, se trouve un wagon roulant sur des rails.

Le fond du wagon est mobile : on l'élève ou on l'abaisse parallèlement à lui-même au moyen d'un plateau horizontal qu'on fait mouvoir, dans le sens vertical, par des manivelles et des axes commandant des engrenages. Pour défourner, le fond mobile du wagon est amené jusqu'au contact de la grille, dont on retire ensuite successivement les barreaux. Puis on abaisse lentement le fond pour lui faire reprendre sa position primitive, et alors l'éponge de fer suit le mouvement et emplit le wagon.

Les frais de construction d'un tel fourneau de réduction à double cornue, y compris la maçonnerie, les matériaux métalliques et la main-d'œuvre, etc., sont estimés à 11 500 francs.

Les détails suivants se rapportent au fourneau qui a fonctionné à Hautmont avec une seule cornue, de 1^{m}.50 sur 0^{m}.50 de large. Les fourneaux à deux cornues n'étaient pas encore terminés en 1859.

Les frais de main-d'œuvre par poste de douze heures, sont : 1 chauffeur pour deux fourneaux, 3 francs ; 1 manœuvre par fourneau pour charger et décharger, 2 francs ; 1 manœuvre pour apporter le minerai, le casser, etc., 2 francs ; 1 enfant pour trier les charges, 1 fr. 50 c. ; soit ensemble 8 fr. 50 c.

On chargeait par jour dans un fourneau à une seule cornue, 1 500 kilogrammes de minerai de fer grillé, et 500 kilogrammes de charbon de bois. La réduction était terminée au bout de trois jours ; alors on défournait la charge précédente, et la nouvelle éponge descendait dans le refroidissoir, où elle séjournait trois jours, puis on opérait une nouvelle charge. Ainsi, l'élaboration, la réduction et le refroidissement durent six jours en tout. Le rendement est de 1 100 kilogrammes d'éponge, sans compter 100 kilogrammes de charbon non utilisé dans la réduction. On consomme en même temps 1 300 kilogrammes de houille.

Le minerai venait de Sommorostro (Espagne) ; il consistait en un mélange de sesquioxyde et de carbonate de protoxyde de fer, au titre de 55 pour 100 de fer. Pris aux mines, il valait 10 francs la tonne, mais à Hautmont il revenait à 45 francs.

Voici l'analyse de ce minerai :

Sesquioxyde de fer.	78.70
Oxyde de manganèse..	0.65
Silice.	10.01
Alumine..	2.36
Chaux..	0.06
Eau..	8.22
	100.00

A Baracaldo, on faisait par jour, dans des feux ou foyers d'affinerie, de 16 000 à 18 000 kilogrammes de fer, dont 10 000 étaient extraits d'éponges de fer, et le reste par le puddlage d'éponges et de fonte mêlées ensemble. M. Sandberg rapporte qu'en 1862, à Baracaldo, on faisait du fer de trois manières différentes : 1° par la méthode indirecte de chauffage, de Chenot; 2° en puddlant avec de la fonte au charbon de bois; 3° avec de la fonte au coke, soumise également au puddlage. Les prix de revient par tonne étaient respectivement de 500 francs, de 450 francs et de 400 francs.

Voici l'analyse du minerai employé à Baracaldo dans le procédé Chenot; il provenait de Campanil, près de Bilbao :

Sesquioxyde de fer.	80.60
Protoxyde de fer..	5.42
Oxyde de manganèse.	2.00
Silice..	2.00
Alumine.	0.40
Chaux..	Traces.
Acide carbonique.	3.39
Eau..	6.30
	100.11

Quand l'éponge de fer est parfaitement réduite, elle est d'un gris brillant, d'une consistance molle et se coupe facilement en tranches minces avec un couteau ; on peut l'enflammer avec une allumette et elle continue à brûler jusqu'à oxydation totale. Le minerai imparfaitement réduit est d'une couleur noire; on ne peut ni le couper ni l'enflammer.

On a constaté qu'en moyenne la densité de l'éponge métallique bien faite ne dépasse pas 1.25 ; mais cette densité est nécessairement très-variable, suivant la nature du minerai, la température de réduction, etc. Sous une pression poussée peut-être à 3 000 atmosphères, elle se réduit au 1/5 de son volume primitif. Pendant la compression, il y a un énorme dégagement de chaleur.

Nous avons décrit jusqu'ici ce qu'on appelle la méthode extérieure ou indirecte de chauffage; il nous reste à parler de la méthode intérieure ou directe (1), par laquelle on réduit le minerai avec un courant chaud d'oxyde de carbone, et non plus par le mélange des matière charbonneuses solides. Le fourneau consiste essentiellement en une chambre de réduction verticale rectangulaire, avec un refroidissoir en fer au fond, absolument comme dans le fourneau précédent, mais, sous d'autres rapports, il y a une différence considérable. La chambre communique par le fond, c'est-à-dire au-dessus du refroidissoir, avec deux générateurs à gaz oxyde de carbone, ou fourneaux à gaz de construction ordinaire, dont un sur chaque paroi longue de la chambre. On brûle du charbon de bois. L'air est lancé dans les générateurs sous une pression égale à une colonne de mercure de $0^{m}.013$; un courant de gaz, riche en oxyde de carbone, est ainsi appelé à travers la colonne de minerai dans la chambre de réduction, au sommet de laquelle il brûle avec la flamme bleue caractéristique, sauf lorsqu'il est accidentellement humidifié par la vapeur aqueuse du minerai. On a essayé, avec succès, de sécher le minerai sur cette flamme. La pression du gaz doit être telle qu'il puisse s'échapper en petite quantité sans brûler, et de façon toutefois à pouvoir être allumé; autrement, l'air pourrait pénétrer jusqu'au minerai réduit et le réoxyder.

M. Tourangin a proposé une modification à la méthode directe de chauffage, et M. Sandberg rapporte que cette modification a été appliquée dans trois localités : près de Bilbao et en France (2). Le fourneau n'a que 6 pieds de hauteur, et on n'a besoin d'aucun appareil pour défourner. Le prix de revient ne serait que la moitié de celui d'un four direct Chenot,

(1) Nous sommes redevable de ces renseignements et de quelques-uns des précédents, à notre ami M. Sandberg, Suédois, qui a fait un *Rapport sur le procédé Chenot à la Chambre des maîtres de forges* de Stockholm. Novembre 1862.

(2) A Quillan (Aude), et près d'Amélie (Pyrénées-Orientales).

quoique le principe soit exactement le même. Il y a une chambre verticale, à section carrée ou à peu près, avec un générateur à gaz de chaque côté, etc. Le fond du four est situé à environ 0m.60 au-dessous de l'ouverture par laquelle débouche le gaz au sortir du générateur; il est incliné en avant, vers la face antérieure où est la porte; cette porte reste fermée, sauf pendant l'extraction de l'éponge, que l'on fait tomber dans une caisse en fer, où on la recouvre de cendres pour la garantir de la réoxydation. Au-dessus du chio ou trou d'extraction, on introduit plusieurs barreaux de fer mobiles destinés à supporter le minerai, ainsi qu'on l'a décrit précédemment. On retire ou l'on replace de temps en temps ces barreaux suivant les circonstances. On donne du vent pendant qu'on extrait l'éponge, afin d'empêcher la rentrée de l'air. Dans un fourneau de ce genre, on peut produire environ 20 tonnes de fer par semaine, et, pendant le même temps, le forger au foyer à charbon de bois, avec un rendement de 50 pour 100.

Le foyer à charbon de bois, pour mettre l'éponge en balle, est presque le même que celui employé dans le pays de Galles méridional pour les tôles à fer-blanc. Pendant le cinglage de la balle, des jets de flamme bleue s'en échappent dans tous les sens. Si l'on a un laminoir à sa disposition, on peut laminer les loupes, sans les réchauffer, en barres d'environ 10 centimètres carrés de section, que l'on coupe en longueurs de 0m.30. Pendant les premières passes au laminoir, le fer est enveloppé d'une flamme bleue, et paraît très-mou. Les morceaux coupés peuvent être réchauffés à la houille, et laminés en barres marchandes de diverses dimensions.

A Baracaldo, le fer Chenot était très-estimé pour la fabrication des clous de fer à cheval; il se vendait, pour cette raison, un prix plus élevé que le fer puddlé, quoique, suivant M. Sandberg, il ne fût certainement pas aussi homogène que ce dernier. Le fer Chenot est réputé mou et nerveux, à cassure

fibreuse ; il n'offre du grain que accidentellement. M. Sandberg annonce qu'à la chaleur rouge il est extrêmement mou et facile à traiter ; il ne présentait aucunes criques, même en le forgeant sans précaution.

M. Sandberg a chiffré le prix de revient du fer Chenot dans les différents établissements qu'il a visités en 1862. Ses calculs ressortent des données qui lui ont été communiquées.

Méthode de chauffage extérieur ou indirecte. — A Baracaldo, production annuelle (1862) d'environ 2 000 tonnes. Pour 1 tonne de fer marchand fini, il faut :

1.15 de massiaux ou de fer n° 1.
1.60 d'éponge de fer.
2.56 de minerai exempt de poudre.
3.00 de minerai brut tel qu'on l'achète; l'analyse en a été donnée précédemment.

Combustible.

1.00 de houille dans la dernière chauffe.
1.15 de massiaux exige dans le foyer à charbon de bois 0.86 de charbon de bois exempt de poussier, et dans le fourneau à réduction 0.64 de poussier. Pour 1.60 d'éponge, on brûle 1.75 de houille pour chauffer le fourneau à réduction.
Poids total de charbon de bois, 1.50, et de houille, 2.75.

Méthode de chauffage intérieur ou directe.—A Laramade, production annuelle (résultats de mars 1863), d'environ 600 tonnes. Pour 1 tonne de fer en barres marchand, il faut :

1.10 de massiaux ou de fer n° 1.
2.20 d'éponge de fer.
3.19 de minerai, exempt de poussière.
3.75 de minerai tel qu'on l'achète. Ce minerai n'est pas si riche que celui employé à Baracaldo.

Combustible.

1.00 de houille, dans la précédente chauffe.
1.10 de massiaux exige dans le foyer à charbon de bois 0.88 de charbon végétal.

2.20 d'éponge de fer exige 0.99 de charbon de bois dans le fourneau de réduction.
Total du charbon de bois sans poussier, 1.87, et de la houille, 1.

Prix de revient du procédé exploité avec la plus grande habileté dans quelques localités de Suède. Pour 1 tonne de fer marchand, il faut :

1.25 de fonte.
2.50 de minerai, contenant 50 pour 100 de fer.

Combustible.

1.66 de charbon de bois pour l'affinage (c'est-à-dire pour convertir le métal en fer malléable dans le foyer à charbon de bois) et le soudage.
1.25 de fonte exige 1.00 de charbon dans le haut fourneau.
Total du charbon de bois, 2.66.

Comme comparaison, on donne les détails suivants du prix de revient, en Suède, de la fonte et du fer affiné au foyer à charbon de bois, correspondant à celui des usines à fer-blanc du pays de Galles méridional. Pour 1 tonne de fer marchand, il faut :

1.10 de massiaux non puddlés.
1.25 de fonte.
2.50 de minerai, contenant 50 pour 100 de fer.

Combustible.

1.00 de houille dans le dernier réchauffage des massiaux.
1.10 de massiaux exige 0 90 de charbon de bois pour l'affinage.
1.25 de fonte exige 1.00 de charbon de bois dans le haut fourneau.
Total du charbon de bois, 1.90, et de la houille, 1.00.

C'est à peu près la même consommation de charbon végétal et de houille que dans le procédé direct et dans les modifications du procédé Tourangin.

A. Chenot semble avoir eu une confiance illimitée dans son

invention, qu'il regardait comme une grande découverte, dans l'ignorance où il était, sans doute, de ce qui avait été tenté précédemment par Clay et par d'autres expérimentateurs. Dans le mémoire manuscrit qu'il communiqua au jury de la première classe de l'Exposition de 1851, nous avons remarqué, sur les prétendus avantages de son procédé, le passage suivant : « La « possibilité d'opérer sur toutes sortes de matières premières, « dans toutes les localités, avec des ouvriers quelconques, un « petit capital et peu d'appareils, tout en obtenant les meilleurs « produits possibles, ce qui répond à la question économique « mieux que toute évaluation en chiffres..... » Il défiait tout maître de forges d'obtenir par les méthodes ordinaires de la fonte de qualité moyenne au prix auquel il était capable de produire, par son système, du fer à acier. Indépendamment de l'avantage du prix, il pouvait consommer tous combustibles, et, en général, ne recourir qu'à la moitié du capital. Le lecteur pourra comparer cette déclaration d'un inventeur enthousiaste avec l'opinion calme et réfléchie d'hommes compétents et désintéressés.

En 1856, une commission, composée de MM. Combes, Regnault et Thirria, rédigea et présenta au ministre des travaux publics, un rapport sur la fabrication du fer et de l'acier par les procédés Chenot (1); en voici les conclusions :

« 1° Les aciers fondus fabriqués par les procédés de « M. Chenot, à Clichy-la-Garenne, avec les minerais de « Sommorostro, peuvent être considérés comme étant de « bonne qualité et propres aux mêmes usages que les bons « aciers fabriqués avec les fers à acier indigènes.

« 2° Les procédés Chenot paraissent applicables utilement « à la fabrication de l'acier avec certains minerais riches pro- « venant de la France ou de l'étranger, dans des usines con- « venablement placées.

(1) *Revue universelle*, précédemment citée, p. 20.

« 3° Il n'est pas probable que ces procédés, dans leur état « actuel, puissent être appliqués avec avantage à la fabrica- « tion du fer, si ce n'est peut-être dans les localités où l'on « pourrait se procurer à bas prix des minerais de fer riches, « et où la main-d'œuvre serait à bon marché. »

Il est à peine besoin de noter qu'un document signé par des ingénieurs aussi distingués a le plus grand poids. Néanmoins, le rapport suivant, rédigé par M. Callon, a été adopté par le jury incomplet de la première classe de l'Exposition de Paris, de 1855 (1). Le contraste est remarquable.

« Nous nous bornerons à féliciter M. Chenot des disposi- « tions ingénieuses à l'aide desquelles il parvient :

« 1° A recueillir, par son *trieur électro-magnétique*, toutes « les parties d'éponge métallique qui se mêlent au menu char- « bon, à la sortie des charges par le bas du fourneau ;

« 2° A opérer la compression de ses éponges, et, au be- « soin, de toutes espèces de copeaux métalliques préparés « pour le traitement ou pour des alliages ;

« 3° A réaliser un avantage considérable dans beaucoup « de cas, notamment pour la *fusion de l'acier*, en donnant à « la cendre des cokes employés un degré de fusibilité tel, « que les grilles soient toujours propres et dégagées de ces « mâchefers visqueux qui, trop souvent, les encrassent, les « corrodent et obstruent le tirage.

« En résumé, le jury pense qu'aucun exposant, peut-être, « ne se présente avec un ensemble plus remarquable de faits « nouveaux et importants au point de vue industriel ; que, « si l'on ne peut pas encore dire que ces découvertes ou in- « ventions soient arrivées à l'état de *grande exploitation in- « dustrielle*, ses produits ont, du moins, *cette perfection excep- « tionnelle due à la science ou au travail*, qui suffit pour « justifier la médaille d'honneur que le jury décerne à « M. Chenot. »

(1) *Revue universelle*, précédemment citée, p. 9.

Si l'on convertit directement le minerai en fer malléable, comme le propose Chenot, à une température qui suffit seulement pour réduire l'oxyde de fer à l'état métallique, il est évident qu'une classe très-considérable de minerais, comme les carbonates argileux, etc., serait exclue. Ces minerais contiennent une très-forte proportion de matières étrangères en mélange très-intime, et l'on ne peut concevoir aucun procédé de triage électrique capable d'y séparer d'une matière satisfaisante le fer réduit. Les matières étrangères pourraient assurément être plus ou moins complétement expulsées dans le procédé qui consiste à traiter l'éponge réduite et comprimée à la chaleur de soudure, dans un feu de charbon de bois ou dans un four à réverbère; mais avec une grande perte résultant de la formation en grande quantité de silicate de protoxyde de fer; il n'y aurait donc là aucun avantage réel sur le procédé catalan. Le minerai réduit pourrait être puddlé, comme on l'a fait en Espagne, mélangé avec de la fonte, ce qui donnerait probablement une meilleure qualité de fer qu'avec de la fonte seule (*). Le fer extrait du minerai à une température relativement basse, directement à l'état malléable, est plus exempt de phosphore que le fer provenant de la fonte traitée au haut fourneau. Nous en avons donné un exemple en rendant compte du traitement des minerais de lac en Finlande.

Les qualités requises des minerais de fer à traiter par le procédé Chenot, sont les suivantes : 1° une grande pureté; la présence de la silice occasionnerait beaucoup de déchet dans la formation en balles de l'éponge; l'on ne pourrait éliminer la magnésie sans difficulté et sans augmenter la con-

(*) En 1845 et 1846, aux forges d'Abbesse, près de Dax (Landes), nous avions l'habitude d'ajouter dans le puddlage de la fonte de 50 à 60 kilogrammes, et quelquefois davantage, de minerai de Sommorostro : ce travail était plus facile, avec grand avantage dans la durée des soles, et le fer était meilleur. L'addition de minerai dans le puddlage de la fonte ne constitue donc pas un fait bien nouveau, et nous y avons eu recours quelques années plus tard avec notre ami Paillette, dans les forges de Mierès (Asturies). [E. P.]

sommation du combustible : la chaux et le manganèse passent pour être les matières étrangères les moins nuisibles; 2° une structure lâche, de manière à faciliter le passage du principal agent de réduction, l'oxyde de carbone. Aucun minerai ne saurait être plus favorable à cette action que le minerai brun (l'hématite brune), parce que la chaleur chasse l'eau qu'il renferme, et rend la masse poreuse dans toutes ses parties. Un oxyde magnétique dense et compacte serait beaucoup plus difficile à réduire. 3° Le minerai ne doit pas être fusible par lui-même à la température où la réduction s'opère.

La dimension des morceaux de minerai est une condition essentielle. Un gros fragment exigera beaucoup plus de temps pour se réduire que la même masse cassée en petits morceaux, car à ce dernier état, il y a une plus grande surface exposée au passage de l'oxyde de carbone. D'un autre côté, cette circonstance si favorable à la réduction, augmente la perte du fer dans la mise en balles, parce qu'il y a une plus grande surface exposée à l'oxydation. Ainsi, en mettant en balle une éponge dont les morceaux étaient gros comme des noisettes, on a trouvé une perte de 28 pour 100 plus grande qu'avec des morceaux gros comme des noix.

M. Sandberg fait une observation importante sur le procédé Chenot, c'est que les fragments d'hématite rouge et brune sont souvent mêlés avec 15 ou 20 pour 100 de minerai à l'état pulvérulent. Cette poudre devra êtré séparée; elle ne peut être employée qu'après avoir été agglutinée par la compression. Une machine de compression du prix de 1 250 francs fonctionnait à Hautmont; mais dans les trois établissements visités par M. Sandberg on ne se servait pas de minerai pulvérisé.

M. Sandberg n'a observé nulle part de réduction uniforme et complète du minerai, ce qui semblait tenir au plus ou moins de compacité ou de densité du minerai, plutôt qu'à la différence de grosseur des morceaux. Il arrive fort souvent que l'on trouve dans une même localité des morceaux d'hématite brune fort

différents sous ce rapport les uns des autres. M. Sandberg assure que la réduction du minerai n'a jamais été complète avec une seule opération, et qu'il est toujours nécessaire de séparer les portions imparfaitement réduites, pour les faire passer une seconde fois dans la chambre de réduction. L'expérience a prouvé que tout le minerai peut être entièrement réduit par une exposition prolongée à l'action d'un gaz réducteur; mais alors la consommation du combustible s'accroît tellement, comparée à la quantité additionnelle de minerai qui se réduit, qu'on a préféré se résigner à l'inconvénient d'une réduction incomplète et assortir ensuite l'éponge.

PROCÉDÉ YATES.

M. Yates a bien voulu nous adresser une brochure contenant la description détaillée d'une méthode proposée par lui pour la conversion immédiate du minerai en fer malléable (1). En principe, ce procédé est identique à tous ceux que l'on avait déjà proposés; la réduction du minerai s'opère en le chauffant avec un mélange de matières charbonneuses; l'appareil décrit paraît être une modification de celui de Chenot. Mais il y a entre les deux méthodes les différences que voici : tandis que Chenot chauffe la chambre de réduction avec les flammes des fours ordinaires pourvus de grilles, M. Yates emploie exclusivement des fours à gaz alimentés par l'oxyde de carbone de générateurs spéciaux ; et tandis que la chambre de réduction de Chenot est rectangulaire et en briques réfractaires, celle de Yates consiste en une série de trois cornues ovales en terre réfractaire, placées verticalement l'une au-dessus de l'autre et réunies par des emboîtements. Voici *in extenso* la description de M. Yates :

(1) *Iron and Steel: on some Points of Economy in their Manufacture.* (Le Fer et l'Acier : de quelques points d'économie dans leur fabrication, par Frederick Yates, 1860, p. 23. Vacher and sons, 29, Parliament Street, London.) Cette brochure est accompagnée d'excellents dessins.

« Le four à réduire et à cémenter le fer consiste en deux cheminées ou chambres de réduction verticales en argile réfractaire, hautes de 9 à 10 mètres, pouvant contenir de 30 à 40 tonnes de minerai, et fonctionnant sans discontinuité, à raison d'environ 0m.30 à 0m.50 par heure, suivant l'espèce de minerai sur laquelle on opère, ou selon le produit que l'on veut avoir. Les cheminées sont chauffées extérieurement par le gaz de quatre générateurs, dont chacun est placé en face de la longue paroi des chambres ovales. La flamme est lancée sur chaque cheminée à environ 3 mètres au-dessus du fond. La portion des chambres au-dessous de l'arrivée des gaz est employée à refroidir les minerais réduits qui doivent y séjourner avant l'extraction, car autrement le fer métallique réduit absorberait de nouveau de l'oxygène, et neutraliserait ainsi, en partie, l'effet de la réduction. Les chambres sont munies à leur sommet de trémies à double jeu, et au fond, de soupapes hermétiques, également à double jeu; les unes et les autres sont construites de manière que, pendant l'introduction des matériaux par le haut, ou l'enlèvement des produits par le bas, il ne pénètre pas d'air d'aucun côté. Entre les deux chambres, il existe des tuyaux pour chauffer l'air nécessaire à la combustion des gaz (on a recours à l'air chaud, afin d'économiser le combustible et d'augmenter au besoin la chaleur). L'air est chauffé par les gaz perdus, dans leur passage du sommet des chambres à l'air libre.

« La totalité du vent est fournie par une machine de la force de douze chevaux, et la pression de l'air varie de 0k.25 à 0k.70, suivant l'espèce de combustible et diverses autres circonstances. Le chargement des matières et le défournement ont lieu à de courts intervalles, sans toutefois que l'air pénètre dans les chambres. On charge les minerais en morceaux dont la grosseur est comprise entre celle d'un œuf de poule et celle d'une noisette. La matière charbonneuse est

cassée en morceaux un peu plus petits que ces deux dimensions, de manière à remplir les interstices et à envelopper, pour ainsi dire, les fragments de minerai.

« Le minerai et le charbon sont intimement mélangés avant d'être chargés. La quantité de charbon solide dépend des minerais ; mais la proportion d'oxygène combiné avec le fer dans les minerais est facile à constater, et l'on en déduit aisément la quantité de matière charbonneuse nécessaire pour la réduction et la cémentation : du reste, un faible excès de charbon est sans conséquence. Afin de produire des effets précisément semblables à ceux que l'on remarque dans l'intérieur d'un haut fourneau ordinaire, et d'aider à la réduction et à la cémentation du fer dans les minerais, en maintenant des points de contact constants et continus entre le fer et les éléments charbonneux ; enfin, pour assurer la présence des composés de cyanogène (indispensables à la production de l'acier, et probablement aussi du fer) [? J. P.], on introduit à l'intérieur de la chambre un petit courant des gaz des générateurs ; ce courant arrive par un carnau formant embranchement sur le conduit principal qui amène les gaz au point de combustion, mais beaucoup plus bas que ce point. Le minerai réduit doit toujours être à l'état sec quand on le retire du four, et il ne faut jamais le chauffer au point de le rendre pâteux. Un tel four représente la moitié, ou environ 6 mètres, d'un haut fourneau ordinaire ; ici finit la première opération...

« L'appareil adapté à la fonte des minerais réduits contenant du fer métallique, consiste en un double four à puddler de grandes dimensions, avec deux générateurs, muni d'un trou de coulée à une hauteur convenable, afin que l'on puisse faire couler les scories. La sole du four doit être au-dessous du niveau de la porte de travail.

« Quant aux fondants, on n'a rencontré aucune difficulté ; au contraire, cette méthode offre des avantages particuliers, si les fondants sont bien choisis et que l'on utilise bien la cha-

leur. En général, on doit viser à former des scories approchant le plus possible d'un silicate de protoxyde de fer : la chaux calcinée ou les minerais de fer purs, crus ou à demi grillés, en proportions convenables, sont des matières à bon marché qui remplissent bien le but. Le fer réduit doit être jeté, avec les fondants appropriés, dans le four à puddler. simple ou double, et y être fondu peu à peu, puis constamment brassé, [c'est-à-dire ne contenant pas d'oxygène libre], et cela jusqu'à la chaleur de soudure. En trente minutes environ, le tout sera fondu et les scories deviendront très-fluides; alors on les fera couler, en en laissant assez au fond, bien entendu, pour recouvrir le fer, que l'on pourra rassembler, mettre en balle, cingler et laminer en barres à la manière ordinaire... Chacun de ces fourneaux à réverbère exige un vent de la force de 3 chevaux.

« L'air est chauffé par les produits de la combustion qui s'échappent du fourneau. Il reste encore après cela assez de chaleur pour produire plus de vapeur qu'il n'en faut pour la force de 3 chevaux. Quatre fours à puddler simples, ou deux fours doubles, suffiraient pour traiter tout le fer forgé d'un seul fourneau de réduction; la chaleur perdue de ces mêmes fours produirait assez de vapeur pour leur propre vent et pour celui du fourneau de réduction, soit en tout la force de 25 chevaux. Les fours et la machine soufflante, pour obtenir de 100 à 120 tonnes de fer forgé par semaine, coûteraient 50,000 francs. Comme le fer réduit, quand on le met dans le four à puddler, est à l'état métallique, il va sans dire qu'il n'a pas besoin d'être décarburé, ce qui économise un tiers du temps et au moins 50 pour 100 de combustible, relativement à celui qu'il faut actuellement employer pour fabriquer une tonne de barres puddlées. »

M. Yates élève les prétentions suivantes à l'originalité de son invention :

« Jusqu'à présent, personne n'a formulé un système par-

« fait et complet, embrassant, comme le nôtre, la fabrication « directe du fer forgé ou de l'acier, ou celle de la fonte, en « employant exclusivement, pendant tout le cours des opéra- « tions, le gaz comme agent de chauffage et en partie comme « agent de réduction et de cémentation ; personne non plus n'a « construit jusqu'ici, pour cet objet, un appareil fondé sur « un principe applicable sur une aussi vaste échelle. »

M. Yates donne un compte très-favorable du prix de revient du fer en barres par son procédé, comparé au prix de revient par la méthode ordinaire. Ainsi, en admettant qu'on emploie 75 kilogrammes de coke pour produire 50 kilogrammes de fonte, que les 45 kilogrammes de houille bitumineuse contiennent 36 kilogrammes de carbone, 1k.50 d'hydrogène, 4 kilogrammes d'eau et d'azote, et 2k.8 de cendres, etc.; que les 45 kilogrammes de houille donnent 32 kilogrammes de coke, il estime que l'économie, sur une tonne de fer marchand à 400 francs la tonne, est de 48 fr. 45 c., soit :

Pour la réduction. . . fr.	21.25,	ou une économie de	60 3/4 °/₀
Pour le puddlage.	10.75	—	57 1/2 °/₀
Pour le réchauffage. . . .	3.75	—	46 °/₀
fr.	35.75		
33 °/₀ sur la perte, évaluée à 22 °/₀ pour le puddlage et le réchauffage, ou (70k.7) de fer à 123 fr. la tonne.	8.70		
25 °/₀ sur le temps, à 16 francs par tonne, pour le puddlage et le réchauffage..	4.00		
fr.	48.45		

Si le lecteur a quelque expérience de la fabrication du fer, il ne devra pas attacher une trop grande confiance à de telles évaluations, car, bien que présentées de bonne foi par l'inventeur, elles peuvent être parfaitement erronées. D'après M. Yates, « il est évident que le mode actuel de trai-

« tement des minerais de fer, riches ou pauvres, n'est pas « le plus rationnel ni le plus économique, bien qu'il soit « presque le seul généralement usité. Pourquoi convertir du « fer malléable en fonte pour le reconvertir ensuite à grands « frais et avec beaucoup de travail en fer malléable? Pour- « quoi, si les minerais étaient originairement assez purs, pro- « duire de la fonte grise quand on peut tout aussi aisément « produire de l'acier doux ou de qualité inférieure? Si c'est « de la fonte que l'on veut faire, pourquoi la produire avec une « consommation de combustible aussi énorme? » Ces questions sont très-naturelles; on les avait depuis longtemps posées sans y répondre d'une manière satisfaisante. Comme il y a déjà quelques années que M. Yates a fait connaître son invention, et qu'elle n'a pas encore reçu la consécration de la pratique, il est à craindre qu'il n'ait pas obtenu dans cette voie plus de succès que ses devanciers.

APPENDICE

PAR

MM. E. PETITGAND ET A. RONNA.

ADDITION I.

DESCRIPTION DES MINERAIS DE LA GRANDE-BRETAGNE.

Les minerais indigènes qui constituent l'alimentation des usines d'Angleterre, du pays de Galles et d'Ecosse se rapportent à quatre formations distinctes : le *calcaire carbonifère*, les *couches houillères* proprement dites; le *lias* et le *terrain permien*. Nous avons déjà insisté sur l'abondance presque inépuisable des minerais de la Grande-Bretagne, stratifiés dans le terrain houiller, c'est-à-dire au contact du combustible et, le plus souvent aussi, des calcaires qui servent de castine ou de flux pour leur réduction (1). Cette addition, qui résume les mémoires des diverses Sociétés géologiques anglaises, et notamment du *Geological Survey*, a pour but de donner la démonstration de cette richesse, en même temps que de familiariser le lecteur avec le nom, la position et l'importance de minerais dont les analyses entreprises sous la direction du docteur Percy, et détaillées dans le corps de l'ouvrage, n'auraient, sans cela, qu'une valeur restreinte à ses yeux. Il est non moins essentiel, croyons-nous, d'être fixé sur les caractères géologiques de minerais tels que ceux de Whitehaven, d'Ulverstone, du Cleveland, d'Airdrie, etc., dont l'emploi est l'objet constant de nos comparaisons, quand il s'agit de la sidérotechnie en Angleterre. — Nous décrirons successivement les minerais principaux de chacune des formations indiquées.

I. — CALCAIRE CARBONIFÈRE.

On exploite les minerais de cette formation dans les comtés du nord de l'Angleterre et dans ceux du sud du pays de Galles.

a. — COMTÉS DU NORD DE L'ANGLETERRE.

La masse calcaire, qui émerge à l'est, au-dessus des couches houillères du Durham et du Northumberland, atteint son point culminant sur le versant du mont Cross-Fell, où elle forme le vaste plateau qui s'étend aux environs d'Alston, entre les deux mers, sur une largeur de 40 kilomètres environ. Plus à l'ouest encore, elle reparaît au-dessus du nouveau grès rouge de Penrith et des couches houillères de Workington et de Whitehaven, où elle encadre les schistes du district des lacs.

(1) Voir page LXVIII de l'Introduction du *Traité de Métallurgie*, t. I.

La structure du plateau central d'Alston diffère matériellement de celle du calcaire que l'on rencontre au midi de l'Angleterre et du pays de Galles. Le calcaire proprement dit y joue un rôle secondaire; les couches, d'une épaisseur peu considérable, s'alternent avec des strates schisteux qui renferment en abondance des *carbonates* et des *minerais argileux*. A Hareshaw, près de Bellingham, quatre hauts fourneaux traitent les minerais argileux provenant des schistes qui séparent les deux bancs de calcaire sur une épaisseur de 18 mètres environ. Le fer y est d'excellente qualité, mais les frais de transport le renchérissent notablement.

On rencontre également, mais en relation avec les filons métalliques (plomb, blende, etc.) du district d'Alston, des masses de *sesquioxyde de fer hydraté*, exploitées de vieille date, comme l'indiquent les anciens travaux mis récemment à jour, et dont on tire encore aujourd'hui, dans la vallée de la Tyne, des *hématites brunes* très-riches. Les filons de Craig-Green et de Manor-House (4^m.50 à 6 mètres d'épaisseur), de Park Edge et de Thorngill sont actuellement en exploitation.

A l'ouest des monts Cross-Fell, dans le Weardale, on retrouve en affleurement ces mêmes hydrates accompagnés de peroxyde botryoïde et de lépidokrokite rouge brun. La Compagnie des forges de Weardale traite les *carbonates* ou *minerais spathiques*, que l'on extrait à l'est dans les bancs de calcaire, où ils forment des amas et des filons. Le filon Rispey (*Rispey vein*), dont le carbonate est parfois mélangé de peroxyde brun, a jusqu'à 9 mètres et 15 mètres de puissance. Ces minerais, qui rappellent ceux du pays de Siegen et de la Styrie, permettent aux usines de Tow-Law et de Weardale de fabriquer des fers d'élite.

L'*hématite rouge* de Whitehaven se rencontre au contact du calcaire carbonifère et des schistes. L'épaisseur du minerai varie, sur certains points, entre 10 et 20 mètres. A Todholes, près de Cleator, le banc situé à quelques mètres de la surface s'exploite à ciel ouvert. L'hématite y repose sur des schistes grisâtres, analogues aux argiles réfractaires, qui appartiennent évidemment à la formation calcaire. Des sondages de 10 à 15 mètres sont restés dans ces schistes, dont la surface est unie, bien qu'elle ait subi de place en place des dépressions que l'hématite a exactement suivies, en n'offrant que des cavités là où le minerai affecte la forme botryoïde ou de nodules. Le parallélisme de trois ou quatre couches de schiste noir verdâtre, intercalées parfois dans la masse d'hématite, permet de supposer que c'est une véritable couche continue.

On traite peu de ce minerai dans le district même de Whitehaven; la houille des environs ne convient pas au traitement, et celle de Newcastle arrive à des prix trop élevés. Les hauts fourneaux de la *Compagnie Whitehaven hœmatite*, la seule en activité, marchent à l'air chaud; une certaine proportion de schiste est nécessaire comme mélange avec le calcaire, afin d'obtenir un fondant convenable.

Au nord de la baie Morecambe, dans la région de Furness ou d'Ulverstone, l'*hématite rouge* est exploitée sur un grand nombre de points, sans qu'on puisse préciser l'origine et la position géologique de cette masse minérale énorme. La mine de Lindale-Moor, qui a atteint 80 mètres de profondeur, est la plus remarquable des environs de Dalton. La partie du minerai voisine du mur est compacte et se vend aux hauts fourneaux ; l'autre partie, désagrégée et composée de fer micacé, se vend à un prix plus élevé aux fours à puddler. Au nord de Dalton, à Ricket-Hills, à Elliscales, etc., l'hématite est en amas entourés de calcaire ; quelques-uns de ces amas ont 50 à 60 mètres de largeur et 15 à 20 mètres de profondeur.

Dans les mines de Park et de Roanhead, l'hématite est très-grenue ou très-fibreuse. Le toit consiste en sable marin très-meuble et récouvert par des strates argileux épais et tenaces qui occasionnent souvent des irruptions d'eau. A moins que les puits ne soient à petite section, les travaux sont exposés à des effondrements. On exploite aussi par gradins de $2^{m}.75$ de hauteur, mais il faut des précautions spéciales et un boisage des plus soignés.

Les minerais de Whitehaven et d'Ulverstone s'exportent en quantités considérables dans le Staffordshire, le pays de Galles et les autres districts sidérurgiques, pour y être mélangés avec les minerais de la localité (1). Malgré leur teneur et leur qualité exceptionnelle, ils ne reviennent en effet sur le carreau qu'à 14 fr. 50 c. et 16 francs la tonne ; le droit de *royalty* ou la redevance est de 1 fr. 55 c.

b. — PAYS DE GALLES.

Les couches supérieures du calcaire carbonifère renferment des masses considérables d'hématite en filons et en amas ; ces couches ont été imparfaitement étudiées. Les filons reconnus sur divers points de la ligne anticlinale du bassin sud, entre Pontypool et Lydstep, dans le comté de Pembroke, ne sont exploités que dans la Taff-Vallée, à Pentyrch. La tôle des usines de Pentyrch jouit de la plus grande faveur. Les filons se rencontrent dans les fissures à peu près verticales qui traversent le calcaire carbonifère.

Dans le comté de Glamorgan, on ne travaille qu'à une seule couche ou amas dans les schistes du calcaire inférieur, à Whitechurch. Cette couche, où dominent les encrinites, se transforme, de l'ouest à l'est, en calcaire encrinitique.

II. — COUCHES HOUILLÈRES.

Les minerais de ces couches, que l'on trouve à divers étages du terrain houiller proprement dit, en strates plus ou moins épais, affectent la

(1) Voir le mouvement des minerais en 1860 ; *Introduction*, p. LXX.

forme de nodules de couleur grise ou brune, ou de masses noirâtres, sans aucunes traces de cristallisation, sans transparence ni éclat. Au point de vue minéralogique, leur intérêt est nul; mais c'est à leur position géologique au contact du combustible minéral, que la Grande-Bretagne doit la supériorité de sa production sidérurgique.

Les minerais du terrain houiller se rapportent à trois variétés : le *carbonate argileux* ou *Sphærosiderit* des Allemands, qui se rencontre en quantités trop peu considérables généralement pour mériter une mention spéciale; les *minerais argileux* et le *blackband*. Nous décrirons ces minerais en parcourant successivement les bassins de la Tyne, des comtés d'York, de Derby, de Stafford, de Shrop, du pays de Galles et de l'Ecosse.

a. — VALLÉES DE LA TYNE ET DE LA WEAR.

Sauf à Tow-Law, où l'on exploite au-dessus de la meulière le *carbonate argileux* à l'affleurement des couches houillères inférieures, ce minerai est épuisé à l'ouest du bassin de la Tyne. Il alimentait autrefois les hauts fourneaux des environs de Gateshead, à Marley-Hill, Consett, etc. Ce district, qui s'étend de Wylam au nord, à Saint-Helens Auckland au sud-ouest, a trouvé une compensation inattendue dans la qualité supérieure de ses charbons pour la fabrication du coke, et dans la découverte des gisements du Cleveland. Il a pu, en effet, exporter son coke, à Middlesbro'on Tees, dans le Yorkshire, et recevoir en retour les minerais du Cleveland dont le bas prix de revient admet des frais additionnels de transport. C'est à cette condition que les hauts fourneaux de la Tyne ont pu reprendre leur activité.

b. — YORKSHIRE.

Le bassin houiller du Yorkshire peut se diviser en deux districts sidérurgiques distincts, celui du Nord ou de Bradford, et celui du Sud, qui comprend Leeds, Sheffield et Rotherham.

District nord : On y exploite les couches inférieures du terrain houiller; les usines à fer de Low-Moor, de Brierley, de Bowling et de Farnley y livrent des fontes très-recherchées par leur ténacité et leur résistance, surtout pour la fabrication des bouches à feu. Le fer en barres y vaut près du double de celui des autres marques anglaises : il a un grain caractéristique, homogène, fin et brillant, qui le rapproche du fer de Suède. On ne traite dans ces usines que les minerais de deux couches houillères : *white bed* et *black bed;* une troisième couche, *brown rake*, a cessé d'être exploitée.

La réputation des fers du Yorkshire nord ne saurait s'expliquer par la qualité supérieure ni par l'abondance du minerai, mais bien par les soins exceptionnels de la fabrication et par la nature excellente de la couche de

houille, *better bed*, inférieure au minerai. Le charbon, absolument exempt de pyrite et d'autres impuretés, sert exclusivement aux hauts fourneaux, ainsi qu'à l'affinage et au puddlage.

Les minerais sont abandonnés en tas, pendant plusieurs mois, à l'action atmosphérique, qui désagrége les schistes, puis grillés et triés avec le plus grand soin.

La couche, *white bed*, a une couleur gris pâle particulière ; elle est encaissée dans des schistes plus foncés. La couche inférieure, *black bed*, est d'un gris noir et composée de nodules de dimensions variables; mais généralement moindres que celles des nodules des autres strates houillers.

Dans plusieurs parties du district (à Low-Moor, par exemple), la qualité du charbon varie et les minerais deviennent assez rares pour ne plus pouvoir être avantageusement extraits. Il est à craindre qu'en poursuivant les couches trop loin, on ne retrouve des qualités différentes de celles qui ont maintenu jusqu'ici la supériorité des fers de Low-Moor.

District sud : Les forges y sont situées entre le chemin de fer du North-Midland et les coteaux qui limitent la partie inférieure du bassin houiller à son affleurement. De Parkgate, près de Rotherham, jusqu'à Tankersley et à Barnsley à l'ouest, les strates de nodules sont à peu de profondeur au-dessous de la surface; on les attaque par des puits échelonnés à quelques mètres les uns des autres en suivant l'affleurement. Le pays, rendu impropre à l'agriculture par suite de ces fouilles, est planté d'arbres.

Les minerais principaux du *West-Riding* (comme on désigne ce district) sont répartis sur une épaisseur de 300 mètres de terrain houiller, entre deux couches de houille : le *Barnsley thick coal* et le *Silkstone*. On cite parmi ces minerais :

Le *Thorncliff* ou *Old black mine*, fournissant 3 500 tonnes environ de nodules par hectare ; quelques-uns de ces nodules sont veinés de spath brun, de carbonates de chaux, de magnésie et de fer ;

Le *White mine* de Parkgate, d'un rendement à peu près égal au minerai de Thorncliff, traité aux usines de Thorncliff;

Le *Clay wood mine*, minerai gris brun, rendant de 3 500 à 3 600 tonnes par hectare, consommé par les mêmes usines ;

Le *Tankersley* ou *Musselband*, d'un rendement de 4 500 à 6 000 tonnes par hectare, renfermant de nombreuses coquilles (*unio*).

c. — DERBYSHIRE.

Le bassin du comté de Derby n'est que la continuation vers le midi du bassin précédent : ce sont les mêmes couches qui se suivent sans interruption au delà de la vallée du Don. Les deux couches limites de houille changent de nom pour celui de *Top hard* et de *Black shale* ou *Clod coal ;* c'est entre ces couches que se trouvent les nodules stratifiés dont quelques-



uns seulement sont exploités fructueusement; notamment ceux qui alimentent les usines importantes de Stanton-le-Dale.

Dans la section générale du bassin du Derbyshire, on compte jusqu'à vingt-six couches de minerai ou *rakes*, sur une épaisseur de 500 mètres environ. Les couches désignées par les noms de ***Brierley bank rake*** et de ***Measure and Balls***, au nord du bassin, sont supérieures à la houille ***Top hard***, et ne sont guère exploitées.

Entre les couches de houille *Tunnel* et *Main soft*, on extrait les minerais en nodules des strates ***Pinder Park***, à Staveley; ***Cement rake*** et ***Brown rake*** (5 000 tonnes par hectare), à Alfreton et à Butterley; le ***Dog-tooth rake*** (4 000 tonnes par hectare), à Chesterfield; c'est une des couches principales caractérisée par les coquilles bivalves *unio* ou *anthracosia*, que l'on retrouve dans le minerai *Blue vein* d'Ebbw Vale, pays de Galles. Cette même couche appelée *Wallis' rake*, au sud du bassin, passe pour fournir une des meilleures qualités de minerai.

Au-dessous de la couche de houille, *furnace-coal*, on distingue le minerai ***Three quarter Balls***, remarquable par la présence de radicelles de stigmaria, des bivalves, des calamites, et parfois de la blende : on l'exploite en grand à Clay-Cross et à Butterley.

A quelques mètres au-dessus de la couche de houille qui sert de limite inférieure (le *Black shale* ou *Clod coal*), se trouve le minerai le plus important de la formation, le ***Black shale***, que l'on exploite principalement entre Dronfield et Butterley; il consiste en deux bancs de schiste gris (4m.50 à 6 mètres d'épaisseur) chargés de nodules et séparés par du schiste impur. Chacun de ces bancs se subdivise, à son tour, en couches de noms divers, *cheeses*, remarquables par leurs fissures symétriques injectées de carbonates et de blende; *Old man* et *Old woman*, à texture compacte, à cassure conchoïde, entrecoupées également par des veines de carbonate et des cristaux de blende, de galène et de pyrite, surtout au contact des failles.

Le mode d'extraction est particulier : on fonce un certain nombre de puits à peu de distance les uns des autres; une seule machine à vapeur commande jusqu'à vingt puits à la fois par un gros treuil et par une même chaîne. Sur les plans de niveau qui établissent la communication entre ces couches inférieures, on creuse des excavations de 2m.10 sur 2m.75 de superficie, en ne laissant que des piliers de quelques mètres entre chacun. On recueille les nodules et on abandonne le schiste dans la galerie, ce qui élève le sol d'autant et permet d'attaquer le toit, tout en poussant les galeries qui finissent par se rejoindre. Quand la couche supérieure est épuisée, on laisse le sol s'effondrer, et on reprend les couches inférieures.

Au-dessous de la houille ***Black shale***, on exploite encore à Stanton le minerai *Honeycroft* (qui rend 15 000 tonnes par hectare); la couche ***Civilly rake*** (10 000 tonnes par hectare), dont le minerai à texture rugueuse renferme des paillettes de mica, et enfin la couche ***Dale Moor rake***

(7 000 tonnes par hectare), dont les nodules de fortes dimensions sont noirs et à gros grains, et renferment des poissons fossiles en si grande abondance, qu'ils forment des bancs à eux seuls. On travaille ces minerais à jour jusqu'à 12 et 15 mètres de profondeur. Des machines fixes les enlèvent sur des plans inclinés ; le schiste sert à combler les travaux au fur et à mesure de leur avancement.

d. — Staffordshire nord.

Le bassin houiller du Staffordshire nord, compris entre les plateaux élevés du Derbyshire et les bas terrains de Stafford, de Crewe et de Norwich, a été partagé par la dénudation des couches supérieures en trois lambeaux que limitent les couches inférieures du terrain carbonifère, c'est-à-dire la meulière et les schistes.

Le bassin des Potteries, le plus important des trois lambeaux, affecte la forme d'un triangle dont le sommet est à Congleton et dont la base entre Longton, près de Newcastle sous Lyne à l'est, et Apedale à l'ouest, s'étend sur 16 kilomètres environ. Il est borné au nord et à l'est par la meulière ; à l'ouest et au sud par le terrain permien et le nouveau grès rouge qui se succèdent très-irrégulièrement par suite des nombreuses failles et dislocations sans lesquelles le terrain houiller se continuerait probablement au sud. Quoique la surface de ce lambeau ne soit évaluée qu'à 110 kilomètres carrés, l'épaisseur des couches exploitables y est plus considérable au centre que dans tous les autres bassins, sauf le Lancashire.

La tradition fait remonter aux âges les plus reculés la fabrication du fer dans le Staffordshire nord ; des argiles d'une qualité supérieure y fixèrent, dès le quatorzième siècle, l'industrie céramique ; et aujourd'hui, c'est dans le voisinage de plus de cent cinquante fabriques de porcelaine échelonnées entre Burslem et Etruria, et formant une suite non interrompue de villes, sur 15 kilomètres de longueur, que l'on trouve les hauts fourneaux alimentés par les mêmes couches de combustible qui se divisent en quatre séries correspondant aux plis et aux dénudations de la surface.

1° *Série supérieure,* composée notamment de marnes rouges et d'argiles avec quelques strates de houille peu épais où l'on rencontre le minerai *top red* à Silverdale, sur 0^{m}.50 d'épaisseur. On évalue à 300 mètres l'épaisseur de la série.

2° *Série des Potteries* et des minerais ferrifères ; elle comprend de huit à treize couches de houille de qualité inférieure, et de dix à douze couches de minerai. L'épaisseur totale de la série jusqu'à la houille *Rowhurst*, varie entre 300 et 450 mètres.

3° *Série inférieure* ou des charbons à fourneau, contenant dix-huit couches de 0^{m}.60 environ entre le *Ash coal* et le *Winpenny*, les minerais y font défaut.

4° *Série la plus basse*, sans intérêt métallurgique.

L'épaisseur des quatre séries varie sur les divers points du bassin jusqu'à la meulière, entre 1 200 et 1 700 mètres. Des soixante-deux couches de houille, quarante sont exploitables, car elles ont au moins 0m.60.

Le trait caractéristique des minerais du Staffordshire nord est leur abondance et leur persistance dans les couches supérieures de la formation où elles ont l'aspect d'un véritable *blackband* et souvent une épaisseur uniforme. Nous ne citerons ici que les principaux minerais :

Le *Red shag*, qui repose immédiatement sur la couche de houille *Foot coal;* la proportion de matières charbonneuses y est si considérable, que le minerai se grille sans addition de combustible. L'économie dans le grillage permet de l'exporter en grande quantité dans le Staffordshire sud. Epaisseur de la couche : 0m.50 à 0m.60 ;

Le *Gutter* atteint 1m.80 à Harecastle ; très-riche en végétaux fossiles. Grillé et mélangé avec des hématites, il sert au puddlage ;

Le *Red mine*, à Silverdale et Apedale ; épaisseur variable, minerai brun, rayé de noir; bivalves abondants ;

Le *Bassy mine*, développé dans la partie orientale du bassin sur 0m.76. A Shelton, on le grille en tas de 2 000 tonnes ; à Lane End, la couche rend jusqu'à 12 000 tonnes par hectare. Cette couche uniforme, évidemment sédimentaire, rayée en noir, bien que brune, est parfois entrecoupée de minces filets de charbon ;

Aux usines de Shelton on traite comme mélange 1/2 de blackband (*Red shag* et *Red mine*), et 1/2 de minerais argileux (*Penny stone*) et d'hématite d'*Ulverstone* ou de *Froghall*. Le *Bassy mine* n'entre dans d'autres mélanges que pour un tiers;

Le *Cannel mine*, minerai noir, terne, compacte, argileux, à cassure un peu conchoïde, avec traces de spath sur les lits de joint. Les six couches de nodules, sur une épaisseur totale de 0m.80, rendent environ 18 quintaux par mètre carré ;

Le *Gubbin*, à 20 mètres au-dessus de la couche de houille, *Spencroft coal;* nodules foncés, mélangés de schiste ;

Le *Pennystone;* trois couches ayant ensemble 0m.58 ; minerai brun, à gros grains avec paillettes schisteuses et des fossiles ;

Le *Deep mine*, minerai riche, excellent, d'un gris noirâtre, à faces lisses, rendant 10 quintaux par mètre carré. Trois couches de 0m.50, 0m.70 et 0m.10.

Les autres couches : *Chalky*, *Rusty*, *New* et *Little mine*, *Brownstone*, *Knowles stone*, *Billy* et *Burnwood*, ont moins d'importance dans le traitement sidérurgique.

Le deuxième lambeau du bassin du Staffordshire, connu sous le nom de WETLEY et SHAFFERLONG, n'a qu'un intérêt géologique ; dans le troisième, désigné par le nom de CHEADLE, et qui s'étend sur 8 kilomètres entre Ip-

stones et Mobberley, on n'avait rencontré jusqu'à ces dernières années que des minerais argileux inexploitables. Il y a quinze ans, on a poursuivi à grands frais des recherches aux environs de Froghall, d'Ipstones et de Consal, dans les couches inférieures accessibles. Le minerai spécial ou *hématite de Froghall,* jouit de qualités remarquables et se vend à des prix élevés aux usines du Staffordshire sud; mais la couche, bien que définie, est sujette à des perturbations si fréquentes, que l'extraction jusqu'ici a été très-limitée et coûteuse.

e. — Staffordshire sud.

Le centre sidérurgique du Staffordshire méridional ne correspond pas à la surface du bassin houiller de ce comté ; c'est seulement au milieu de ce bassin qu'on extrait les minerais de fer. Si l'on prend Dudley comme point central et qu'on mène une ligne au nord, entre Wolverhampton et Walsall par Bloxwich, et une autre ligne au sud, de Stourbridge à Halesowen, on détermine les côtés du parallélogramme où sont agglomérées les forges du Staffordshire; cette surface de 80 kilomètres carrés, qui renferme sept villes de premier ordre : Wolwerhampton, Bilston, Darlaston, Wednesbury, Walsall, Dudley et Stourbridge, et seize villes secondaires, offre une scène d'activité peut-être sans égale dans aucun pays. La cause d'une pareille concentration est l'abondance de la houille et du minerai sur une épaisseur de 100 à 150 mètres. La proximité des couches utiles qui demande des puits moins profonds, a favorisé ce développement inusité sur une surface aussi peu étendue. Dans la coupe de ce bassin, on distingue treize couches de houille, dont quelques-unes ont jusqu'à 9 mètres d'épaisseur. Il est à regretter que les exploitations, conduites sans suite ni principes, aient amené la dilapidation de telles richesses (1).

Au sommet du bassin, à Brereton, près de Rugeley, les couches houillères affleurent au-dessus du nouveau grès rouge, bornées par deux failles qui se séparent en se dirigeant vers le sud; aussi plongent-elles faiblement d'abord vers l'est à Beaudesert, puis vers Bentley au midi, et encore vers l'ouest.

Parmi les couches de minerai exploitables, il convient de mentionner :

Les *Brooch binds,* au-dessous du *Brooch coal.* Ces couches d'argile schisteuse ne renferment du minerai qu'au sud-ouest de Dudley, sur une épaisseur moyenne de $2^m.15$; à Brierley Hill, les nodules sont riches ;

Les *Pins* et *Penny earth,* qui doivent leurs noms à la forme des nodules; les *Pins* sont cylindriques ou arrondis; les *Penny earth* sont aplatis en forme

(1) *Métallurgie*, t. I, p. 151.

de sous; on les exploite aux environs de Dudley, où les couches atteignent de 2 à 6 mètres d'épaisseur;

Le *Tenfoot stone*, qui se trouve à 3 mètres au-dessus de la couche de houille *Thick coal* et le *Back stone*, qui forme le toit de la même couche;

Les *Grains*; ce minerai se rencontre accidentellement dans une couche d'argile noire ou blanche qui n'a pas plus de 2^m.40 d'épaisseur;

Le *Gubbin* ou *Black stone*; c'est un des minerais les plus répandus et les plus exploités du bassin. La couche d'argile renferme un, deux ou trois bancs de nodules; l'épaisseur totale varie de 0^m.60 à 3 mètres;

Le *White stone*, encore plus répandu et plus exploité que le précédent; on l'extrait sur une longueur de 16 kilomètres environ. Les nodules de grosses dimensions sont faiblement colorés; les couches ont en moyenne de 1^m.20 à 1^m.50. Elles constituent l'élément principal de la fabrication actuelle;

Le *Penny stone*, *Blue stone* ou *Cakes*. L'argile est foncée, et souvent noirâtre; les nodules sont écrasés et foncés; près d'Oldbury, les coquilles fossiles abondent;

Les *Fireclay balls*, qui existent au-dessus de la couche de houille *Fireclay coal*. Ces minerais sont très-variables et ne se rencontrent qu'entre Bilston et Wolverhampton;

Le *Getting rock*, se trouve accidentellement dans les grès inférieurs à la couche houillère *Fireclay*;

Le *Poor Robin*, 1 mètre d'épaisseur; un peu plus fréquent que le n° 9;

Le *Rough hills Whitestone*, limité entièrement au district, entre Bilston et Wolverhampton. A Parkfield, les couches ont 6 mètres d'épaisseur et renferment jusqu'à onze strates de nodules;

Les *Gubbin et Balls*; ce minerai est surtout exploité entre Wolverhampton et Walsall; on y trouve de la pyrite et parfois de la galène et de la blende;

Les *Blue flats* dont le nom dérive du lit en forme de dalles sur lequel gît le minerai, et de la teinte bleuâtre qu'il prend par le séjour à l'air;

Les *Silver threads*; ce minerai emprunte son nom aux petits filets de de spath brillant qui traversent ce minerai; dans le district de Walsall où on l'exploite uniquement, la couche argileuse atteint de 1^m.10 à 2 mètres d'épaisseur;

Les *Diamonds* doivent également leur nom aux cristaux de spath entremêlés; on ne les exploite que dans les environs de Walsall.

f. — Shropshire.

Le bassin houiller s'étendant au midi de Newport, à l'est de Wellington, jusque vers Broseley, n'est pas des plus importants, bien que le fer y soit renommé, tant par sa qualité que par la quantité fabriquée. C'est

un triangle, dont un des angles très-aigus aboutit à Newport; sa longueur est de 19 kilomètres, et sa plus grande largeur, de 6 kilomètres à l'ouest. Le bassin est bordé par les roches plus anciennes, et à l'est il plonge sous les formations des grès rouges permiens, au-dessous desquels il est probable qu'il se prolonge indéfiniment jusqu'à sa jonction avec le bassin de Wolverhampton. La distance qui sépare les usines de Priorslee ou de Madeley, dans le Shropshire, de celles de Wolverhampton, n'est en effet que de 25 kilomètres à travers le grès rouge. La comparaison des deux bassins, et notamment des minerais de fer, tend d'ailleurs à confirmer cette opinion. Il est difficile d'évaluer d'une manière exacte l'épaisseur totale de la formation houillère du Shropshire; celle que l'on peut fixer d'après les puits est inférieure à 365 mètres; mais, par suite de l'irrégularité des grès rouges superposés, il est impossible d'apprécier la puissance des couches supérieures du terrain: le calcaire carbonifère, qui paraît sur une épaisseur considérable à Lilles Hall au nord, n'existe plus au midi du bassin.

En 1860, le Shropshire comprenait trente-deux hauts fourneaux, dont vingt-six en feu, parmi lesquels un appartenant à la *Coalbrook-dale* Compagnie, et huit à la Compagnie *Lilles Hall*. La production annuelle atteignait 145 200 tonnes de fonte.

Les puits de Wombridge ont traversé le bassin sur 165 mètres; la première couche de minerai n'apparaît qu'à 65 mètres de profondeur : c'est le *Top* ou *Chance Penny stone*, qui forme une couche très-irrégulière, d'une grande analogie avec la couche *Penny stone*, à 60 mètres plus bas de la formation.

Le *Ragged robbin* est également très-irrégulier, situé au-dessous de la couche de houille *Fungous coal*.

Le *Black stone* est un minerai d'un éclat terne, à cassure inégale, mais à facettes lisses et brillantes, très-noires. Les cavités cylindriques qu'on distingue dans les nodules sont remplies de poudre blanche; ce minerai rend environ 3 500 tonnes à l'hectare, et sert à la fabrication de la *best best* qualité de fer.

Le *Brick-measure*, minerai d'importance secondaire, en gâteaux plats, d'un brun chocolat, à surfaces très-unies; des clivages divisent la couche en briquettes, d'où lui vient son nom.

Ball stone, en gros nodules d'un gris brun et à cassure conchoïde; il est employé pour les fers de meilleure qualité.

Yellow stone, nodules irréguliers, massifs, tachetés de blanc, rendant 2 500 tonnes à l'hectare, d'un prix de revient supérieur aux minerais précédents, se consommant indistinctement dans les hauts fourneaux à air chaud et à air froid.

Blue flats, nodules gris bruns, irréguliers, entremêlés d'argile durcie et de radicelles de stigmaria, rendant 4 000 tonnes par hectare et revenant à

20 francs la tonne environ, comme les minerais précédents. Les usines de la Compagnie *Lilles Hall*, qui produisent la moitié du fer fabriqué dans le comté, emploient comme mélange pour leur fonte à l'air froid, d'une marque supérieure, le *Black stone*, le *Ball stone*, le *Blue flats* et le *Penny stone*, en parties égales. Pour les fontes à l'air chaud, le même mélange est additionné de 40 pour 100 d'hématite.

White flats, nodules d'un gris brun, à surface faiblement colorée, très-riches en fossiles; rendant 3 500 tonnes par hectare; d'un prix inférieur.

Penny stone, nodules généralement petits, bruns et à cassure irrégulière, renfermant souvent du spath calcaire dans les fissures, et de la poudre blanche composée de sulfate de baryte ou de silicate d'alumine. Cette couche remarquable produit de 5000 à 6000 tonnes par hectare; complétement dépourvue de fossiles au nord du bassin, elle offre au midi une collection très-parfaite de fossiles végétaux et animaux. Le minerai est mis en tas pour que l'action du temps le débarrasse du schiste adhérent. Dans quelques usines, on l'emploie seul et on en obtient de la fonte excellente.

Crawstone; cette couche inférieure comprend des nodules bruns d'un aspect singulier, à grains grossiers disséminés dans une pâte de grès à grains fins. On en tirait autrefois, dans le sud du bassin, un fer exceptionnellement nerveux.

g. — PAYS DE GALLES SUD.

L'aliment principal des hauts fourneaux de cette région privilégiée est fourni par les minerais argileux des couches houillères.

La fabrication du fer y remonte d'ailleurs à la plus haute antiquité; dans presque toutes les vallées on retrouve des amas de scories provenant des anciens fourneaux, et souvent ces scories sont recouvertes, ainsi que les restes des forêts voisines, par le sol moderne. Protégé contre la dénudation par une série de collines qui courent au nord, de l'est à l'ouest, et parallèlement dans la même direction au sud, le bassin houiller du pays de Galles, dont la superficie a été évaluée par Vivian à 250,000 hectares, est surtout riche en minerais argileux. Bordé au nord par le terrain silurien et le vieux grès rouge; au sud par le même grès rouge recouvert irrégulièrement par les terrains permiens, ce bassin, malgré ses barrières, a été entamé par des courants en direction nord-ouest, qui ont déterminé des vallées d'une profondeur parfois de 400 mètres; ces vallées aboutissent à la mer, aux ports de Cardiff, de Newport, de Swansea, etc., et par une admirable compensation de la na-

ture, elles ont offert toutes facilités aux transports, en même temps qu'elles ont permis au mineur de foncer des puits au-dessous du niveau général de la contrée et d'arriver ainsi plus vite au développement et à l'utilisation des richesses minérales du bassin. En 1862, la fabrication du fer, de rails notamment, dans le pays de Galles sud (1), était représentée par le chiffre de 925 000 tonnes, et l'extraction de la houille, par 10 000 000 tonnes.

Les strates houillers du pays de Galles sont divisés en deux séries par des bancs épais d'une roche siliceuse très-dure, passant parfois au conglomérat ; la dureté de cette roche et l'eau qu'elle renferme constituent une des grosses difficultés de l'exploitation.

A proprement parler, les couches de la série inférieure donnent exclusivement du minerai. Le charbon, bitumineux à l'est, change graduellement vers l'ouest et devient de l'anthracite passé le dyke de Vale Neath. Ces couches s'étendent sur la totalité du bassin ; les principaux gîtes de minerais existent au bas de la série ; leur teneur paraît plus riche en moyenne vers l'est; l'épaisseur des couches augmente en direction vers l'ouest, mais la teneur diminue, et en Irlande on retrouve, au pied des falaises de Limerick, près de l'embouchure du Shannon, des millions de tonnes de minerai lavé par l'Atlantique et ne donnant plus que 19. 5 pour 100 de fer à l'analyse.

A l'est du bassin, l'inclinaison des couches est très-grande ; elle varie entre 30 et 45 degrés, ce qui a facilité l'extraction par galeries de niveau, débouchant sur les versants des vallées, et l'établissement des usines ; mais beaucoup de ces niveaux sont épuisés et il a fallu foncer des puits ; ce qui n'a pas sensiblement augmenté le prix de la houille, mais a accru celui de la mine, car les schistes deviennent plus durs en profondeur et exigent plus de temps pour se déliter à l'air. C'est à cette cause qu'il faut attribuer les exploitations récentes des minerais du calcaire carbonifère et de la série permienne. Au nord, l'inclinaison des couches n'est que de 5 à 7 degrés.

Les couches minérales de la série inférieure sont si nombreuses, qu'il ne convient de nommer ici que celles actuellement exploitées et dont une grande partie est encore jusqu'ici inexplorée. Néanmoins, beaucoup de ces minerais ont entre eux une telle ressemblance, au point de vue lithologique et minéralogique, que l'on peut reconnaître avec certitude la continuité des couches.

Dans la vallée d'Ebbw Fawr la coupe du bassin est la plus complète ; on y rencontre successivement parmi les couches de minerais exploitées et en allant jusqu'à 779 mètres au-dessous de la surface :

(1) Le chiffre de la houille comprend la production du Monmouthshire.

	Epaisseur des couches de minerai.
Schiste *Upper Pins*	0m.11
— *Soap vein mine*	0 .08
Black Pins mine	9 .15
Schiste *Ell Balls*	1 .22
Three quarter Balls	0 .95
Gough's mine	1 .80
Upper Darren mine	1 .20
Argile réfractaire : *Blackband*	0 .88
Spotted vein mine	0 .07
Red vein mine (*top vein*)	0 .10
Spotted Pin	0 .06
Blue vein mine (irrégulière)	6 .78
Big vein mine (*top vein*)	0 .05
Holing Pin	0 .04
Bottom course	0 .05
Nappwg Pin	0 .04
Rosser vein (pierre meulière)	

De ces couches, on traite principalement à Dowlais, Merthyr Tydfil; le *Rosser vein*, le *Blue vein*, le *Spotted vein* et le *Blackband;*

A Blœnavon, le *Spotted vein*, le *Three quarter Balls* et le *Black pins;*

A Cwn Celyn et Blaina, le *Red vein*, *Spotted*, *Black pins* et *Soap vein*.

Les caractères des minerais de chacune de ces couches sont décrits en détail dans les observations qui se réfèrent aux tableaux des analyses (pages 358 à 362).

h. — Ecosse.

Les houillères écossaises sont comprises dans la zone centrale et s'étendent du *Firth of Clyde* jusqu'au *Firth of Forth*, d'Ayr à Edinburgh. On désigne parfois cette grande zone sous le nom de bassin houiller d'Ecosse, mais cette dénomination est incorrecte, parce qu'elle fait supposer l'existence d'un seul et même bassin continu, comme par exemple celui du pays de Galles; tandis qu'en Ecosse c'est au contraire une série de bassins indépendants et distincts (Ayr, Lanark, Clackmannan et Fife) dans lesquels la stratification est différente, et souvent on remarque dans un bassin l'absence complète de certaines roches du bassin voisin. La formation houillère offre en effet des exemples remarquables de perturbations volcaniques; les *dykes* et *trap* ont eu pour effet non-seulement de modifier l'allure des couches, mais encore leur nature, et les failles constituent un des traits les plus remarquables des bassins écossais. — Dans le bassin de Lanark, où sont situés les principaux établissements métallurgiques, la formation houillère proprement dite, comprise entre le vieux grès rouge et le nouveau grès rouge, se subdivise en deux groupes.

1re série. *Carbonifère supérieure* ou *formation lacustre :* Elle embrasse

environ 400 mètres de profondeur; les couches de charbon et de minerai exploitées occupent la portion centrale de la série dont le caractère géologique est l'absence de calcaire et de débris organiques marins. — Elle contient 34 couches de charbon, formant une épaisseur totale de 10 à 12 mètres, sur lesquelles 9 seulement sont exploitées : 1. *Upper coal;* — 2. *Ell coal;* — 3. *Pyot shaw coal;* — 4. *Main coal;* — 5. *Humph coal;* — 6. *Splint coal;* — 7. *Virtue well coal;* — 8. *Kiltongue coal;* — 9. *Drumgray coal;* les autres n'ont guère plus de $0^m.35$ d'épaisseur. Citons parmi les couches exploitables le *Splint coal* ($0^m.75$ à $1^m.50$ d'épaisseur), qui donne la meilleure qualité de charbon pour les hauts fourneaux, mais qui est déjà épuisée dans plusieurs localités; — le *Kiltongue coal,* qui a $1^m.50$ d'épaisseur à Gartsherrie.

Le *blackband,* minerai carbonaté et bitumineux contenant des bandes de charbon intercalé, ce qui lui a valu son nom, et rejeté comme du charbon de mauvaise qualité jusqu'en 1825, accompagne la plupart des strates de houille de la série supérieure; c'est aujourd'hui la base de la fabrication des fontes en Ecosse. Les quatre couches principalement exploitées sont :

1° *Upper blackband* ou *Palace craig ironstone*, couche située à 16 mètres environ au-dessus d'*Upper coal;* ce minerai ne se trouve que dans quelques localités, on l'exploite à Gartsherrie ; il a $0^m.45$ d'épaisseur et contient plus de matières bitumineuses que le suivant; mais il est de qualité inférieure;

2° *Mushet's Airdrie blackband* se trouve à environ 30 mètres au-dessous du *Splint coal;* ce minerai est d'excellente qualité; la couche a de $0^m.35$ à $0^m.45$. Il forme la ressource principale des hauts fourneaux du bassin d'Airdrie : Clyde, Calder, Gartsherrie, Dundyvan, etc., mais il commence à s'épuiser ;

3° *Crofthead* ou *Slaty blackband*; de même épaisseur que le n° 2 et de qualité moyenne; les hauts fourneaux de Coltness marchent surtout avec ce minerai;

4° *Rough band;* couche peu épaisse située au-dessus du *Virtue well coal;* elle contient des nodules excellents avec débris organiques. Le minerai renferme une assez forte proportion de chaux qui en fait plutôt un *clayband* (minerai argileux).

Le *blackband* varie comme qualité, comme composition et sous le rapport de la matière charbonneuse mélangée. Nous reproduisons dans le tableau suivant des analyses du docteur Colqhoun sur quatre échantillons de blackband des environs d'Airdrie, près de Glasgow, en regard de deux analyses de minerais argileux compactes de la Clyde.

	Minerai compacte.		Blackband.			
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Protoxyde de fer....	35.22	45.84	53.03	40.77	47.33	53.82
Peroxyde de fer.....	1.16	»	0.23	»	0.33	»
Chaux.............	8.62	1.90	3.33	0.90	2.00	1.51
Magnésie..........	5.19	5.90	1.77	0.72	2.20	0.28
Silice.............	9.56	7.83	1.40	—	6.63	»
Alumine...........	5.34	2.53	0.63	10.10	4.30	2.00
Soufre.............	0.62	»	»	2.72	0.22	0.25
Acide carbonique....	32.53	34.62	35.17	26.41	33.10	34.39
Matière bitumineuse..	2.13	1.86	3.03	17.33	1.70	7.70
Oxyde de manganèse.	»	0.20	»	»	0.13	»
Eau et perte........	»	»	1.41	1.10	2.06	»
	100.37	100 68	100.00	100.05	100.00	99.93
Fer métallique......	32.8 à 41.2		41.02	34.06	»	41.00

On grille en tas le minerai aux abords des puits d'extraction; en général, le charbon contenu dans le minerai suffit pour le grillage; quelquefois cependant il faut employer du menu, tandis que d'autres fois le charbon du minerai se trouve en excès considérable. L'opération dure quinze jours; avec le *Upper blackband*, elle va jusqu'à trente jours. Le minerai change de couleur; de brun noir, il passe au jaune rougeâtre : en même temps, les espaces remplis par le charbon se trouvent vidés par la combustion, et cette structure du minerai est très-favorable à son traitement dans le haut fourneau. Quand l'opération est poussée trop loin, le minerai prend l'aspect des scories du puddlage; il se produit une fusion partielle à la surface dont les interstices sont obstrués, et le traitement du minerai ainsi fritté devient plus difficile. Après le grillage, le minerai possède une richesse de 60 à 70 pour 100.

2e *série inférieure du calcaire carbonifère*. Cette série, qui embrasse 1,100 mètres de profondeur, renferme quinze couches de houille rarement exploitée parce qu'elle est de mauvaise qualité, assez ordinairement friable et impure. On y trouve toutefois, outre quelques couches de charbon à gaz très-estimées, des veines importantes de minerai en couches ou en nodules d'une épaisseur totale de 0m.90 à 1m.20, consistant le plus souvent en carbonates argileux qui servaient exclusivement à la fabrication écossaise avant la découverte du *blackband*; ils sont dans les couches de schiste sur une épaisseur parfois de 1m.30. Les minerais de la Clyde, nos 1 et 2 du tableau, se rapportent à cette série inférieure.

III. — LIAS.

a. — Yorkshire.

Les roches liasiques du Yorkshire constituent aujourd'hui la source la plus importante de l'alimentation des hauts fourneaux du district du Cleveland et de la vallée de la Tyne. C'est depuis 1846 seulement, que le minerai du Lias a fixé l'attention des métallurgistes. Avant cette époque on en avait traité des quantités considérables provenant de la côte entre Scarborough et Saltburn et plus tard à Grosmont, à 8 kilomètres environ de Whitby. Le *carbonate* de Whitby, bien que formant une couche de $1^m.35$ reconnue sur une longueur de 8 kilomètres et desservie par un chemin de fer, ne pouvait supporter la concurrence du *blackband* d'Ecosse, car il ne rendait au traitement que 25 pour 100 de fer. MM. Bolchow et Vaughan, entraînés à construire des hauts fourneaux à Middlesbro, dans l'espoir d'obtenir des minerais du bassin houiller de Bishop Auckland, mais désappointés dans leurs recherches, durent recourir, comme les maîtres de forges de la Tyne, au minerai de Whitby dont ils reconnurent les qualités dans le traitement au haut fourneau. Un peu plus tard, ces mêmes métallurgistes remarquèrent accidentellement à Skinningrove sur la côte, des blocs de minerai identique détachés de la falaise, et dans la falaise une couche massive ayant $4^m.60$ d'épaisseur au lieu de $1^m.35$ comme à Whitby, et rendant 31 pour 100 de fer au lieu de 25. Ce banc que l'on suit sur des kilomètres de longueur, entre Redcar et Middlesbro', occupe le centre de la formation liasique; on a évalué sa superficie à 675 kilomètres carrés et son rendement à 50 000 tonnes par hectare, ce qui correspondrait, d'après M. Bewicke (1), à 5000 millions de tonnes de minerai. Il ressemble extérieurement à un banc de grès ordinaire dont la surface serait imprégnée de rouille. Ici, le minerai est massif, de couleur verdâtre ou grise, et là, divisé par des strates schisteux, horizontaux ou verticaux, à structure oolithique.

A Grosmont, près de Whitby, où se sont faites les premières extractions régulières, on connaît deux couches sous les noms de *Pecten* et d'*Avicula*; la première consiste en $0^m.90$ de minerai, séparé par une tranche de schiste de $0^m.35$; la seconde existe à 9 mètres plus bas dans le même schiste sur une épaisseur de $1^m.35$. Ce sont ces deux couches qui, réunies à Swainby près d'Osmotherley, et augmentant d'épaisseur de $0^m.90$ à 6 mètres, forment la couche principale (*Main Cleveland seam*), puis s'amoindrissent en atteignant, au sud, Gainsborough et Thirsk. A la limite ouest, ce schiste a presque disparu et la marne a remplacé la formation oolithique inférieure.

(1) *British. Assoc. Rep.*, 1863. *On the manufacture of Iron.* By I. Lowthian Bell.

La nature de la roche du Main Cleveland varie en même temps que l'épaisseur. Ainsi, au nord du bassin, à Codhill, où se trouvent les premières mines, elle est si imprégnée de matières étrangères, qu'il est nécessaire de restreindre l'extraction sur 1m.65 de section; le rendement, à cause du schiste, n'est en moyenne que de 28 pour 100 de fer. A l'est de Codhill, aux mines de Belmont, les schistes diminuent et le rendement atteint 30 pour 100; la couche est exploitée sur 2m.30. A Skelton, encore plus à l'est, l'épaisseur augmente et la qualité s'améliore; les travaux y ont jusqu'à 3 mètres de hauteur, et le rendement moyen atteint 36 pour 100. A l'ouest du contre-fort de Guisbro, qui sépare cette vallée de celle de la Tees, sont les mines de Normanby, où l'on extrait sur 2m.45, du minerai tenant 31.5 pour 100 de fer. La couche plonge un peu à l'est à partir de ce point et va en s'épaississant, passé Eston et Upleatham, jusqu'à Rockcliffe où elle a 5m.50; puis se divise de nouveau en deux couches comme à Grosmont.

De Codhill à Rockcliffe le long de la côte, la distance est de 20 kilomètres; c'est la limite sud du meilleur minerai.

Une autre couche, le *Top Cleveland seam*, est des plus irrégulières; à Normanby et à Eston, on la trouve à peine indiquée, et dans l'étendue du bassin, elle varie en épaisseur de quelques centimètres à 1 mètre; tandis que sa teneur saute de 10 à 30 pour 100, suivant la localité. La mine d'Ingleby est la plus importante du district occidental; le *Top seam* y a 0m.60 et donne 34.75 pour 100 de fer. Près d'Osmotherly, la couche a 1 mètre, dont quelques centimètres rendent jusqu'à 41 pour 100 de fer. Sur la côte orientale, à Port-Mulgrave, elle a de 1m.25 à 1m.40 d'épaisseur, et tient 30.99 pour 100 de fer.

Les mines de Rosedale-Abbey consistent en une couche de *minerai magnétique*, correspondant dans l'échelle géologique au *Top seam;* ces minerais, dont les caractères sont décrits (p. 363), sont surtout traités dans les hauts fourneaux de Ferry-Hill, et entrent dans la composition des mélanges traités ailleurs. La teneur est supérieure à celle du minerai moyen du Cleveland, mais la qualité du métal ne diffère pas sensiblement de celle du district.

L'extraction se fait par galeries de 2m.75 de largeur, et en ménageant des piliers de 27 mètres de longueur sur 9 mètres de largeur. Quand la concession tire à sa fin, on dépile avec une perte de 10 pour 100 environ. De sorte que, dans les couches exemptes de failles, on extrait au jour jusqu'à 92 pour 100 du minerai.

L'activité imprimée à la sidérurgie, depuis la découverte du minerai Cleveland, aux environs de Middlesbro, dans les comtés du nord de l'Angleterre, est sans précédents. Une population nombreuse s'est, en une dizaine d'années, groupée autour des collines du Yorkshire percées de toutes parts par les travaux de mine. Le nombre des hauts fourneaux, qui était de 38 en 1850, était de 108 à la fin de 1863, produisant 600 000 tonnes de fonte, à peu près exclusivement avec le minerai local. On y comptait

à la même époque 646 fours à puddler, produisant 300 000 tonnes de fer fini. Le combustible abondant, de première qualité et à bas prix, des ports neufs, un commerce florissant, ont placé en quelques années le North Riding du Yorkshire dans une position d'avenir hors ligne.

b. — Northamptonshire.

Les minerais du Northamptonshire sont d'introduction récente. M. Blackwell (de Dudley) a constaté, vers 1851, l'existence de dépôts étendus de carbonates siliceux correspondant à peu près, comme position géologique, au minerai Cleveland, et que l'on a traités depuis en assez grandes masses dans le Staffordshire, le Derbyshire et le pays de Galles. Les caractères de ces minerais ont été décrits (p. 349). M. Ed. Hull a poursuivi les indications de ces couches siliceuses dans le lias supérieur, aux environs de Banbury, d'Eddington et de Woodstock. Le minerai de Woodstock ou Blenheim se trouve dans la marne, entre le lias supérieur et inférieur: à l'encontre du minerai Cleveland, il ne tient que de 0.25 à 0.55 d'acide phosphorique.

IV. — TERRAIN PERMIEN.

PAYS DE GALLES SUD.

Dans les couches inférieures de la série permienne, on rencontre irrégulièrement au-dessus du terrain houiller des minerais d'*hématite*. Les amas sont situés çà et là, et généralement dans les cavités que la mer permienne n'a pu atteindre. On en exploite un près de Llanharran et un à Llantrissant (*Mwyndy*), dans le Glamorganshire. Ce dernier, en forme de coin à la surface, sépare le conglomérat magnésien du calcaire carbonifère. A Gwar Coch, à 3 kilomètres de Port Caul, le minerai repose sur le calcaire, et tient parfois du manganèse en quantité notable (voir p. 347). L'exploitation de ces hématites est appelée à prendre de plus grands développements (1).

(1) Le tableau publié, p. LXIX, *Introduction à la metallurgie*, t. I, indique les quantités de minerai extraites pendant les années 1859 et 1860, dans les divers comtés de la Grande-Bretagne, ainsi que les teneurs en fer de ces minerais.

ADDITION II.

MÉTHODES ANALYTIQUES

AU LABORATOIRE MÉTALLURGIQUE DE L'ÉCOLE DES MINES DE LONDRES.

Pour compléter l'exposé des méthodes d'essai par la voie humide de l'auteur, nous empruntons aux *Mémoires du Geological Survey* la note de M. A. Dick sur les procédés suivis au laboratoire métallurgique de l'Ecole des mines de Londres pour les analyses dont les résultats sont reproduits dans les tableaux I à VI, p. 344 à 346.

PREMIÈRE MÉTHODE.

1. Un certain poids du minerai réduit en poussière fine est mis à digérer dans de l'acide chlorhydrique concentré jusqu'à ce que toute action paraisse cesser; puis on fait bouillir, pendant un quart d'heure environ, avant d'étendre la solution et de filtrer. La portion insoluble est complétement lavée à l'eau distillée chaude, séchée, calcinée et pesée; toutes précautions sont prises pour empêcher l'absorption de l'humidité.

2. On peroxyde le fer, s'il y a lieu, dans la solution par l'acide azotique ou par le chlorate de potasse; on ajoute un excès d'ammoniaque, et on filtre rapidement.

3. La chaux est précipitée par l'acide oxalique à l'état d'oxalate, puis convertie en carbonate par la calcination ; on la pèse à l'état de carbonate après évaporation avec le carbonate d'ammoniaque, ou bien on la reprend par l'acide sulfurique et, après avoir chassé l'excès d'acide en chauffant, on la pèse à l'état de sulfate.

4. La magnésie est précipitée par le phosphate de soude avec excès d'ammoniaque. On laisse le précipité se déposer pendant vingt-quatre heures environ; puis on le rassemble sur un filtre, on le lave à l'eau ammoniacale, on le sèche, on le calcine, on le reprend par quelques gouttes d'acide azotique; on le calcine de nouveau et on le pèse. Le précipité ainsi obtenu contient généralement un peu de matière floconneuse, du phosphate d'alumine; l'alumine est retenue en solution par l'ammoniaque.

5. Le précipité qui contient tout le fer, l'alumine, l'acide phosphorique et le manganèse (sauf des traces de ce dernier qui accompagnent la chaux), ainsi que des petites quantités de silice et de chaux ou de magnésie (la première est apparemment combinée avec l'alumine, et la dernière avec l'acide phosphorique), est dissous dans l'acide chlorhydrique, puis sursa-

turé par la potasse caustique, porté à l'ébullition dans une capsule de platine et filtré. La liqueur filtrée, acidifiée par de l'acide chlorhydrique, bouillie après avoir ajouté un peu de chlorate de potasse, afin de détruire la matière organique provenant de l'action de la potasse sur le filtre, est neutralisée à peu près par l'ammoniaque, et rendue finalement alcaline par le carbonate d'ammoniaque. Le précipité est calciné et pesé; on y dose l'acide phosphorique par le procédé à l'acide tartrique (voir § 13) et on soustrait son poids du poids primitif, afin de constater celui de l'alumine. La proportion d'acide phosphorique ainsi déterminé n'est jamais exacte, par suite de la petite quantité de silicate d'alumine qu'il renferme. Il convient donc de doser cet acide une seconde fois.

6. Le précipité par la potasse caustique est dissous dans l'acide chlorhydrique, et le fer est précipité à l'état de succinate que l'on recueille sur un filtre; puis on le redissout, on le reprécipite par l'ammoniaque, on le calcine et on le pèse. Le fer ainsi obtenu n'est jamais parfaitement pur, parce qu'il renferme un peu d'acide phosphorique, combiné apparemment avec de la chaux ou de la magnésie, et de la silice combinée avec l'alumine; or, aucune de ces deux combinaisons n'est décomposée par l'ébullition avec la potasse caustique. On le dissout donc de nouveau dans l'acide chlorhydrique et on le sépare par filtration d'une partie de la silice devenue alors insoluble, que l'on calcine et pèse. Il importe de remarquer ici, qu'une très-petite quantité de silice ne peut pas être séparée d'une très-grande quantité de fer par l'évaporation ordinaire; de sorte que la séparation de cette faible quantité de silice n'a pas pu s'opérer en évaporant la première solution dans l'acide chlorhydrique. L'acide phosphorique du précipité est dosé par l'acide tartrique; il contient généralement un peu de silicate d'alumine. Cet acide phosphorique et la silice, déduits du poids primitif, on a le poids du peroxyde de fer; ce peroxyde contient encore, il est vrai, de faibles quantités d'autres substances.

7. Le liquide filtré, après précipitation du succinate de fer, est rendu alcalin par de l'ammoniaque; on y ajoute quelques gouttes de brome, et on l'abandonne pendant vingt-quatre heures. Le précipité calciné au rouge vif est pesé à l'état de Mn^3O^4.

8. La partie insoluble est fondue avec un excès d'un mélange alcalin obtenu par la décomposition du sel marin à chaud, après avoir lavé les carbonates mélangés. On fait dissoudre la masse fondue dans l'acide chlorhydrique et on l'évapore à siccité. Le résidu est repris par l'acide chlorhydrique concentré et abandonné pendant vingt-quatre heures, puis mis à digérer dans l'eau chaude, filtré, et la silice est calcinée et pesée. On s'assure de sa pureté en la divisant en deux portions, dont l'une est traitée par l'acide fluorhydrique et l'autre par la potasse caustique; toute impureté appréciable pourrait ainsi se déduire.

9. La liqueur filtrée est rendue alcaline par de l'ammoniaque et filtrée.

Le précipité est calciné et pesé; le fer séparé plus tard est soustrait du poids primitif, ou bien on le dissout de suite dans l'acide chlorhydrique et on le traite par la potasse, comme §§ 5 et 6, sauf en ce qui concerne l'acide phosphorique qui n'existe pas ici.

10. La chaux et la magnésie dans la liqueur filtrée du paragraphe précédent sont dosées exactement de la même manière que dans la solution acide du minerai.

11. *Alcalis et matière organique.* — On a reconnu que presque tous les alcalis étaient renfermés dans le résidu insoluble de l'acide chlorhydrique. Un poids donné de minerai ayant été mis à digérer dans l'acide chlorhydrique, le résidu insoluble est rassemblé sur un filtre et lavé. On le fait sécher avec soin, de manière à pouvoir le réunir et le détacher du filtre sans enlever une portion notable du papier; puis on l'expose, dans un vase de platine, à l'action de la vapeur acide fluorhydrique, dans l'appareil Brunner, jusqu'à ce qu'il soit décomposé. Le produit est évaporé avec de l'acide chlorhydrique concentré, repris ensuite par de l'acide étendu, et la matière noire insoluble est réunie sur un petit filtre pesé, que l'on sèche et pèse. Comme cette matière contient d'ordinaire une petite quantité de matière inorganique non décomposée, on l'incinère et on soustrait le poids des cendres. La liqueur filtrée de la matière organique est jointe à la solution primitive dans l'acide chlorhydrique, et le mélange est traité par de la baryte caustique; les alcalis sont pesés à l'état de chlorures.

12. *Acide sulfurique et soufre.* — Un poids donné de minerai est mis à digérer dans de l'acide chlorhydrique; on filtre la solution et on précipite l'acide sulfurique dans la liqueur, à l'état de sulfate de baryte que l'on calcine et que l'on pèse. Le résidu est détaché du filtre, mélangé avec du carbonate et de l'azotate de potasse, et fondu dans un creuset d'or. La masse, fondue dissoute dans l'acide chlorhydrique et évaporée à siccité, est reprise par de l'acide concentré, étendue d'eau et filtrée. On précipite l'acide sulfurique dans cette liqueur filtrée à l'état de sulfate de baryte, et on calcule le soufre du sulfate obtenu. Le soufre paraît toujours se présenter dans le minerai à l'état de pyrite de fer ($Fe\ S^2$). Dans le calcul final des analyses, on soustrait du résidu insoluble pour 100, et de la composition de ce résidu, le fer nécessaire à la combinaison avec le soufre. On doit remarquer que si de la pyrite de fer finement divisée est portée à l'ébullition dans de l'acide chlorhydrique concentré, en présence de perchlorure de fer, une partie de ce dernier se réduit, et il se forme de l'acide sulfurique : c'est un point important pour l'analyse des hématites.

13. *Acide phosphorique.* — Un poids donné de minerai est mis à digérer dans de l'acide chlorhydrique, et l'on filtre la solution. La liqueur filtrée est chauffée (le fer ayant été réduit par le sulfite de soude, quand il y a lieu), et à peu près neutralisée par du carbonate de soude, puis on y ajoute un excès d'acétate de soude. On porte alors la liqueur à l'ébullition, et l'on

ajoute, goutte à goutte, du perchlorure de fer dans la solution à chaud jusqu'à ce que le précipité acquière une couleur rouge bien prononcée. Le précipité est alors recueilli sur un filtre, lavé à l'eau chaude, et dissous dans l'acide chlorhydrique, auquel on ajoute de l'acide tartrique et finalement un excès d'ammoniaque. L'acide phosphorique est précipité par un mélange de sulfate de magnésie, de chlorhydrate d'ammoniaque et d'ammoniaque libre. Après avoir laissé le précipité au repos pendant vingt-quatre heures, on le recueille sur un filtre, on le dissout dans l'acide chlorhydrique et on ajoute à la solution de l'acide tartrique. Le phosphate, de nouveau précipité par l'ammoniaque, est réuni sur un filtre, incinéré, repris par quelques gouttes d'acide azotique, réincinéré et pesé.

14. *Eau.* — Un poids donné de minerai est mis dans l'étuve, puis pesé une seconde fois afin de déterminer l'eau hygroscopique. On l'introduit ensuite dans un tube fermé par un bout et communiquant par l'autre avec un petit tube à chlorure de calcium pesé. On chauffe peu à peu le minerai dans le tube jusqu'au rouge sombre. La plupart des minerais éprouvent alors une décomposition et laissent dégager le gaz provenant des carbonates, ce qui empêche, dans bien des cas, d'avoir à aspirer l'air dans l'appareil. On pèse de nouveau le tube à chlorure et on détermine par différence le poids de l'eau en combinaison chimique. Dans les minerais argileux, cette eau est combinée avec le silicate d'alumine ou l'argile.

15. *Acide carbonique.* — On a recours à l'appareil ordinaire à un flacon; l'acide sulfurique sert à décomposer les carbonates.

16. *Métaux précipitables par l'hydrogène sulfuré dans la solution d'acide chlorhydrique.* — Un poids donné du minerai, variant de 15 ou 20 grammes à 100 grammes, est mis à digérer pendant longtemps dans l'acide chlorhydrique. On filtre la solution (le fer est réduit dans la liqueur filtrée par le sulfite de soude, s'il y a lieu) et on y fait passer un courant d'hydrogène sulfuré. La petite quantité de soufre qui se sépare est recueillie sur un filtre et lavée à fond, puis incinérée à une température aussi basse que possible. Le résidu de l'incinération, mélangé avec du carbonate de soude, est soumis au chalumeau sur un morceau de charbon; les globules de métal obtenus sont ensuite dissous et analysés.

Parfois, la partie insoluble dans l'acide chlorhydrique est mise de nouveau à digérer dans de l'acide auquel on ajoute de temps en temps du chlorate de potasse. On filtre alors la solution et on l'ajoute à la solution primitive avant de réduire les sels de fer maximum.

DEUXIÈME MÉTHODE.

Un poids donné de minerai est mis à digérer dans l'acide chlorhydrique, et la solution est filtrée.

La matière insoluble est fondue comme dans la première méthode, puis

dissoute dans l'acide chlorhydrique et ajoutée à la solution primitive. Le mélange est évaporé à siccité pour recueillir la silice. Sous les autres rapports, le mode d'analyse est exactement le même que dans la méthode précédente, sauf en ce qui est relatif au traitement à part de la matière insoluble dans l'acide chlorhydrique.

TROISIÈME MÉTHODE.

Cette méthode est celle qui a prévalu au laboratoire métallurgique, à cause de sa plus grande simplicité et de son exactitude.

1. On fait digérer un poids donné de minerai dans l'acide chlorhydrique et on filtre la solution. La matière insoluble est incinérée, pesée et traitée exactement comme dans la première méthode.

2. Le fer, dans la solution acide, est s'il y a lieu peroxydé. La solution, chauffée, neutralisée à peu près par l'ammoniaque, est portée à l'ébullition avec un excès d'acétate d'ammoniaque et filtrée à chaud. Le précipité est lavé à l'eau chaude. A la liqueur filtrée reçue dans un matras et rendue alcaline par de l'ammoniaque, on ajoute quelques gouttes de brome ; on bouche hermétiquement afin d'exclure l'air, et on abandonne au repos pendant 24 heures. On chauffe ensuite la liqueur et on filtre rapidement; le précipité incinéré et pesé représente Mn^3O^4. La chaux et la magnésie dans la liqueur filtrée se dosent comme dans la méthode n° 1. On remarquera que le phosphate ammoniaco-magnésien, dans ce procédé, n'est jamais mélangé de phosphate d'alumine, car l'alumine est complétement précipitée à l'état d'acétate basique.

3. Les acétates basiques précipités sont dissous dans l'acide chlorhydrique. On sursature la solution par de la potasse caustique ; on fait bouillir dans une capsule de platine et on filtre. L'alumine, contenant un peu d'acide phosphorique, est précipitée dans la liqueur filtrée comme dans la première méthode. L'acide phosphorique se dose par l'acide tartrique. Le phosphate ammoniaco-magnésien, bien que dissous et précipité une seconde fois, est rarement tout à fait pur : il contient un peu de silicate d'alumine. On fait toujours un second dosage. Il a été reconnu que, par cette méthode, l'acide phosphorique, après le traitement par la potasse, ne retient pas de fer. Il reste un peu de silice, mais comme le fer, après ce traitement, n'est pas dosé, il y a seulement une perte de la petite quantité de silice.

4. Le fer est déterminé directement par le procédé volumétrique du docteur Penny, conformément aux instructions de l'auteur (voir p. 381). Si le minerai contient les deux oxydes de fer, on a soin d'empêcher l'action de l'air pendant la dissolution du minerai.

5. Les autres éléments sont dosés comme il a été indiqué dans la première méthode.

A l'appui des méthodes que nous venons de décrire, M. Dick a fait diverses expériences sur le mérite de certains procédés spéciaux, notamment ceux de Fuchs, de Frésénius et de Rose, pour le dosage du fer ou de l'acide phosphorique. Ces expériences, bien que se rattachant à la docimasie proprement dite, méritent d'être rapportées pour démontrer les motifs de la préférence accordée aux méthodes du laboratoire métallurgique.

Expériences sur le dosage du peroxyde et du protoxyde de fer existant simultanément dans un minerai. — La méthode Fuchs, on le sait, repose sur ce principe, que l'acide chlorhydrique n'attaque pas le cuivre lorsque l'air atmosphérique fait défaut; mais s'il y a en même temps de l'oxyde ferrique, il dissout une quantité de ce métal proportionnelle à celle de l'oxyde, en produisant du chlorure de fer et du chlorure de cuivre. La méthode consiste donc à introduire un poids exact de cuivre dans une solution de chlorure ferrique, à faire bouillir le tout jusqu'à ce qu'il ne se produise plus de réaction, et à laver le métal non dissous pour le sécher ensuite et le peser. Connaissant la quantité de cuivre qui s'est dissoute, on trouvera, au moyen du calcul, la quantité d'oxyde de fer sur laquelle on a opéré. Si le minerai contient de l'oxyde ferreux et de l'oxyde ferrique, on fait deux essais pour déterminer la quantité du premier : dans l'une on fait bouillir la dissolution acide avec du cuivre, ce qui donne le contenu d'oxyde ferrique ; dans l'autre on opère de même, mais après avoir transformé l'oxyde ferreux en oxyde ferrique, au moyen du gaz-chlore ou du chlorate de potasse cristallisé. La différence des deux résultats indique la quantité d'oxyde ferrique qu'il suffit de ramener par le calcul à l'état d'oxyde ferreux pour obtenir la quantité de ce dernier. On traite par cette méthode de 1 à 2 grammes au plus de minerai.

Si la liqueur acide contient de l'acide titanique, on la traite à froid par le cuivre, puisque, à chaud, ce métal fait passer l'acide titanique à l'état d'oxyde.

La méthode Fuchs avait donné, dans quelques analyses, des résultats peu satisfaisants, et M. Dick fit les essais suivants sur des poids donnés de substances à l'état pur; du cuivre déposé par la pile, du fer à l'état de peroxyde obtenu par précipitation et calciné, et enfin de l'acide chlorhydrique d'un degré titré. D'ailleurs, les essais ont été faits dans des flacons remplis exactement de liquide et bien bouchés, afin de les soustraire à l'influence de l'air atmosphérique.

On fit dissoudre 0gr.270 de peroxyde de fer dans le double de la quantité d'acide nécessaire à sa dissolution complète, et on versa la solution dans un flacon bouché renfermant une plaque de cuivre de 20 centimètres carrés. Le bouchon fut assujetti avec du caoutchouc, et la solution fut abandonnée à elle-même, à la température ordinaire, jusqu'à ce qu'elle devînt à peu près incolore. Au bout de seize jours, on retira le cuivre pour le laver d'abord dans une solution à chaud de sel ordinaire, puis à l'eau pure ; il avait

perdu 0gr.211, au lieu de 0gr.213 qu'il aurait dû perdre en poids, si la totalité du chlorure produit eût été converti en bichlorure. Le volume du liquide était de 40 centimètres cubes environ. On répéta cet essai sur deux fois et dix fois la quantité d'acide avec le même résultat. Dans un essai spécial, on employa 1gr.95 de chlorure de sodium, au lieu d'un excès d'acide, pour dissoudre le bichlorure au fur et à mesure qu'il se formait, sans que le résultat fût changé.

A 100° C. il fut encore identique, sauf que la transformation s'opéra en quelques heures, au lieu d'un grand nombre de jours à la température ordinaire. Mais on obtient parfois, dans l'analyse des minerais, des écarts encore plus considérables; aussi la méthode Fuchs a-t-elle été écartée pour être remplacée par la méthode volumétrique du docteur Penny (p. 381).

DOSAGE DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE.

Essais destinés à contrôler la méthode de Frésénius pour la séparation de l'acide phosphorique du fer et de l'alumine, à l'aide de l'acide tartrique. — On fit dissoudre dans l'acide chlorhydrique 0gr.691 de phosphate de baryte, obtenu en ajoutant du phosphate tribasique de soude dans du chlorure de barium et en calcinant le précipité. La solution acide, après addition d'un excès d'acide sulfurique, fut filtrée; le précipité pesait 0gr.721.

Environ 0gr.52 de peroxyde de fer et 0gr.20 d'alumine, exempts tous deux d'acide phosphorique, furent dissous dans de l'acide chlorhydrique et ajoutés à la liqueur filtrée. On y versa alors de l'acide tartrique et un excès d'ammoniaque; le phosphate fut précipité à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien. Après 24 heures de repos, on recueillit ce dernier sur un filtre, où il fut lavé à l'eau ammoniacale. Comme il contenait encore du fer, on le fit dissoudre de nouveau et on le précipita encore par l'ammoniaque après addition d'un peu d'acide tartrique, puis on laissa reposer 24 heures, comme dans les essais décrits plus loin.

Poids du phosphate de magnésie = 0gr.3465.

Poids traité.	Quantités résultant du calcul.	Quantités obtenues.
0 691 de phosphate de baryte	= 0.470 de baryte.	0.474
	0.221 d'acide phosphorique. . . .	0.221

Cette expérience démontre la bonté de la méthode, lorsque le fer n'est pas en grand excès.

Pour constater si la méthode est aussi exacte, lorsque l'on a à séparer une petite quantité d'acide phosphorique d'une grande quantité de fer ou de sels introduits pendant l'essai, M. Dick a soumis à l'expérience, comme source d'acide phosphorique, une solution de phosphate de soude tribasique

ordinaire, conservée à l'abri de l'air dans un flacon bouché. — Cette solution, essayée à deux reprises, titrait 0.74 pour 100 d'acide phosphorique.

Effet du chlorhydrate d'ammoniaque. — 5gr.133 de la solution furent étendus de manière à faire environ 8 centimètres cubes et l'on ajouta 26 grammes de chlorhydrate d'ammoniaque. L'acide phosphorique précipité comme il a été indiqué, le poids du pyrophosphate de magnésie fut trouvé égal à 0gr.009 équivalent à 0.74 pour 100 d'acide phosphorique de la solution. Le chlorhydrate n'affecte donc pas l'exactitude de la méthode.

Effet de l'azotate d'ammoniaque. — 6gr.089 de la solution furent versés dans 15 centimètres cubes d'acide azotique concentré, sursaturé par l'ammoniaque. Le volume du liquide pour la précipitation était égal à 95 centimètres cubes environ. Poids du pyrophosphate de magnésie = 0gr.0716 équivalant à 0.74 pour 100 d'acide phosphorique. L'azotate n'altère pas conséquemment les résultats du dosage.

Effet du tartrate d'ammoniaque. — 8gr.754 de la solution furent ajoutés à une solution de 9gr.716 d'acide tartrique. La liqueur avait été sursaturée par l'ammoniaque ; l'acide phosphorique fut précipité comme ci-dessus. Poids du pyrophosphate de magnésie = 0gr.100 équivalant à 0,73 pour 100 d'acide phosphorique. Le tartrate est donc sans action sur les résultats de la méthode.

Il convient toutefois de faire remarquer que ces sels, tout en ne s'opposant pas à la précipitation complète, affectent l'aspect du précipité. L'addition de sels ammoniacaux peut donner en quelques minutes l'aspect cristallin au précipité gélatineux et volumineux d'acide phosphorique, ce qui n'a lieu qu'à la longue avec les autres sels alcalins. Dans le cas de sels ammoniacaux, le précipité se forme très-lentement et adhère aux parois des vases.

Effet du sulfate de magnésie. — 5gr.527 de la solution furent mélangés avec 1gr.295 de sulfate de magnésie et 2gr.590 de chlorhydrate d'ammoniaque ; le pyrophosphate de magnésie résultant de la précipitation, telle qu'elle a été indiquée, fut trouvé = 0gr.068 équivalant à 0.78 pour 100 d'acide phosphorique ; et dans deux autres essais où l'on fit varier les doses des sels additionnels, à 0.77 et 0.76 pour 100 d'acide phosphorique. — Ce léger excès est dû à l'interposition entre les particules cristallines d'un peu d'eau mère qu'il est difficile d'enlever par le lavage ; mais comme aucune liqueur d'analyse ne contient des proportions aussi considérables de sels fixes, on peut affirmer qu'ils ne donnent lieu à aucune cause d'erreur.

Effet d'une solution de peroxyde de fer dans l'acide tartrique et l'ammoniaque. — On ajouta 1gr.210 de la solution à une liqueur contenant de 4 à 5 grammes de peroxyde de fer, de l'acide tartrique et un excès d'ammoniaque. On ajouta encore à ce mélange du sulfate de magnésie, du chlorhydrate d'ammoniaque et de l'ammoniaque libre et on abandonna

le tout au repos durant trois jours. La précipitation avait lieu comme ci-dessus; le pyrophosphate de magnésie fut trouvé = 0gr.009, soit à 0.47 pour 100 seulement d'acide phosphorique.

Dans un second essai sur 2gr.532 de solution, mélangée d'acide tartrique, de fer, d'ammoniaque en plus grande quantité, puis de sulfate de magnésie, de chlorhydrate d'ammoniaque et d'ammoniaque, il ne se fit aucun précipité après plusieurs jours de repos. Malgré des additions renouvelées d'ammoniaque et du dernier mélange, le précipité ne se forma pas. Cette circonstance ne pouvait s'expliquer par la trop grande masse du liquide, qui était à peu près la même que dans les expériences précédentes, mais bien par l'influence du mélange magnésien sur la petite quantité de phosphate en solution.

Comme la quantité d'acide phosphorique dans les minerais est relativement très-faible, on adopta, par suite du résultat négatif de la méthode Frésénius pour les liqueurs riches en fer et en autres sels, celle qui a été décrite page 574, première méthode.

Vérification du procédé indiqué dans la première méthode (§ 13, p. 574). — On ajouta 6gr.162 de la solution à une liqueur renfermant environ 3gr.880 de fer exempt d'acide phosphorique. Le fer était à l'état de protoxyde; on en peroxyda une petite quantité et la solution fut à peu près neutralisée par du carbonate de soude; puis on ajouta un excès d'acétate de soude. La liqueur fut bouillie et filtrée. Le précipité rouge recueilli sur le filtre fut redissous dans l'acide chlorhydrique; après addition d'acide tartrique et d'ammoniaque en excès, l'acide phosphorique précipité à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien fut recueilli, vingt-quatre heures plus tard, sur un filtre, dissous encore dans l'acide chlorhydrique et reprécipité. — Poids du pyrophosphate de magnésie = 0gr.071 soit 0.735 pour 100 d'acide phosphorique.

Dans une deuxième expérience sur 1gr.339 de la solution, le poids du pyrophosphate fut trouvé égal à 0gr.0015, équivalant à 0.80 pour 100 d'acide phosphorique, mais à cause du volume peu considérable de la solution, l'erreur de ce calcul, ramené à 100, avait été quintuplée et il est possible que dans un minéral consistant en grande partie en phosphate, la proportion de fer puisse retenir un peu de phosphate ammoniaco-magnésien en solution; mais ce n'est pas le cas pour les minerais de fer, et l'erreur n'est guère appréciable.

Séparation de l'acide phosphorique et de l'alumine. — Le procédé Fuchs pour séparer l'acide phosphorique de l'alumine par le silicate de potasse a été essayé de la manière suivante : 0gr.344 de phosphate de baryte ont été dissous dans l'acide chlorhydrique; on ajouta de l'acide sulfurique à la solution et on filtra. De l'alumine exempte d'acide phosphorique et dissoute dans l'acide sulfurique, fut ajoutée au liquide précédemment filtré que l'on sursatura par de la potasse caustique. En y versant un excès d'une

solution de silice par la potasse caustique, il se forma un précipité volumineux qui fut recueilli sur un filtre et lavé. La liqueur filtrée, acidifiée par de l'acide chlorhydrique, fut saturée d'ammoniaque afin de précipiter tout excès de silice. Le liquide filtré et concentré, on y ajouta le mélange de sulfate de magnésie, de chlorhydrate d'ammoniaque et d'ammoniaque libre. Le précipité volumineux, en partie floconneux et en partie cristallin, fut repris par l'acide chlorhydrique qui dissout la partie cristalline et laisse intacte la partie floconneuse. La liqueur fut alors filtrée, sursaturée par de l'ammoniaque et abandonnée pendant vingt-quatre heures. Le phosphate ammoniaco-magnésien très-cristallin, pesait calciné, 0gr.174 équivalant à 1.71 d'acide phosphorique; le calcul indiquait 1.70. C'est donc là un procédé qui paraît exact, bien qu'on n'ait analysé aucun des précipités.

Procédé Rose. — Ce procédé repose sur la conversion de l'acide phosphorique en phosphate basique de sous-oxyde de mercure (en traitant la solution du phosphate dans l'acide azotique par le mercure, en quantité plus que suffisante pour le dissoudre complétement) et sur sa décomposition par la fusion avec un carbonate alcalin. On précipite alors l'acide phosphorique du phosphate ainsi formé par la solution mixte de sulfate de magnésie, de chlorhydrate d'ammoniaque et d'ammoniaque et l'on pèse comme d'ordinaire à l'état de pyrophosphate de magnésie. — M. Spiller a reconnu dans la pratique de ce procédé que les résultats étaient exacts, mais on ne l'adopta pas pour les analyses des minerais, à cause de sa plus longue durée et des plus grands soins qu'il exige. — Dans un essai sur du phosphate de baryte renfermant 27.37 pour 100 d'acide phosphorique, le procédé Rose a donné 26.85, soit 0.52 pour 100 de perte.

ADDITION III.

MINERAIS DE FRANCE.

DESCRIPTION ET ANALYSES DES DIVERS MINERAIS CONSOMMÉS EN FRANCE.

La France est riche, à l'égal des autres pays, en minerais de fer; il convient d'en donner ici une description succincte. Ainsi que dans la Grande-Bretagne, en Belgique et dans les contrées où nos forges vont chercher

une partie de leur approvisionnement, ils se rencontrent, soit en filons, soit en amas ou en couches, dans les mêmes conditions géologiques, occupant les terrains les plus anciens jusqu'aux plus modernes. Ils offrent les variétés les plus rares et les plus communes.

Nous nous bornerons à décrire sommairement les minerais qui ont un intérêt industriel, avec les caractères généraux des principaux gisements, leur manière d'être dans les localités où ils sont le mieux accusés.

Ils seront classés dans l'ordre où ils apparaissent dans l'échelle géognostique des terrains.

Les minerais de fer se rapportent à trois espèces distinctes : ce sont les minerais OXYGÉNÉS, les minerais CARBONÉS et les minerais SILICÉS.

Ces derniers, n'étant utilisés qu'accidentellement, sont d'un médiocre intérêt.

On désigne dans le commerce les minerais de fer sous les noms moins scientifiques de *minerais de montagne*, de *minerais en roche* et de *minerais d'alluvion*. Cette classification concorde assez bien avec l'âge des roches au milieu desquelles ils se rencontrent.

Les minerais en roche et d'alluvion ou alluviens forment la partie la plus importante de notre richesse minérale : ils constituent en réalité la base d'alimentation des hauts fourneaux et des forges de l'empire.

I. — MINERAIS OXYGÉNÉS.

Cette classe comprend l'*oxyde magnétique*, le *peroxyde anhydre*, le *peroxyde hydraté*.

1° Le FER OXYDULÉ MAGNÉTIQUE ou oxyde magnétique gît dans les terrains anciens : c'est le minerai par excellence de la Suède.

Nous ne le trouvons en France qu'en gîtes très-restreints, ou bien associé en filons, en nodules ou en veinules à d'autres minerais, ou encore disséminé dans la masse. Citons sur le versant méridional des montagnes Noires, dans l'Hérault, le gîte de Saint-Pons ; ceux de Mas Carol et de Puymorens, à l'extrémité sud-ouest des Pyrénées-Orientales, sur les confins de l'Espagne et du département de l'Ariége. Les minerais de Mas Carol sont très-purs et s'exportent en Catalogne pour les foyers catalans qu'on trouve encore dans les vallées de Ribas et du Ter.

Nous avons encore des fers oxydulés magnétiques en filons de 10 à 15 centimètres, enclavés dans les couches de fer spathique du beau gîte de Balaigt (Pyrénées-Orientales) adossé aux flancs nord du Canigou ; il est disséminé dans la plupart des mines de cette région.

La vallée d'Andorre offre, à Escaldas, à Molls, etc., et à Baya, en Cer-

dagne, des gîtes intéressants d'oxydulé que le défaut de communications empêche d'utiliser en France.

On rencontre encore l'oxyde magnétique au Courniou, dans l'Hérault, au Vigan (Gard), dans les Ardennes et à Saint-Brieuc (Côtes du-Nord); en Corse et en Savoie.

Dans l'Algérie, le fer oxydulé existe en veinules ou mélangé au fer oligiste qui constitue les gîtes d'Aïn-Motka et d'Al-Karezas, province de Bone et de Constantine. On a tenté de traiter ces minerais dans les usines du Nord et du Midi ; les usines du Creusot se proposent d'y recourir pour leur alimentation.

La Sardaigne est riche en oxydes magnétiques : ils se présentent en amas considérables dans les schistes siluriens métamorphisés et dans le granit. On les exploite, pour le compte d'usines françaises, dans les gîtes d'Is-Ginestras, de Capoterra, de Perda-Steria, district de Cagliari, et de Perda-Niedda, district d'Iglesias. Il en existe divers autres encore, mélangés d'oligiste, à Seddori, à Arenas et à Turribino, qui pourraient très-bien subvenir aux besoins des forges françaises de la Méditerranée.

L'île d'Elbe possède, à Calamita, un gisement important d'oxydule plus ou moins mélangé d'oligiste compacte et d'hématite, reposant sur les schistes quartzeux métamorphique, et qui fournit, avec un système d'extraction des plus grossiers, en moyenne une dizaine de mille tonnes par an.

Les oxydes magnétiques compactes ou à l'état de sables sont des minerais d'ordinaire fort riches, réfractaires la plupart, et parfois mélangés de pyrites de cuivre; mais ils produisent des fers d'élite, tenaces, très-nerveux, se prêtant à tous les emplois. Ce sont les plus estimés depuis un temps immémorial dans la fabrication de l'acier, d'où qu'ils viennent, et, malgré toutes les théories formulées ces dernières années, ce sont toujours ceux qui aident à produire les premières marques d'aciers fins.

2° PEROXYDE ANHYDRE. — Cette espèce est caractérisée, on le sait, par sa poussière rouge ; on y remarque quatre variétés :

Le *fer oligiste* proprement dit, ou *peroxyde de fer;* le *fer micacé* ou *métalloïde;* l'*hématite rouge* et l'*oxyde* compacte ou terreux.

Le *fer oligiste* existe en amas ou en masses plus ou moins considérables, concrétionnées, ou à texture grenue, lithoïde, stratifiées ou en filons dans les terrains anciens et dans ceux de transition. Le célèbre minerai de l'île d'Elbe en est le type le plus connu.

Ce minerai se rencontre notamment dans la chaîne des Pyrénées, à Laroque d'Albères et dans la plupart des gîtes adossés aux versants nord du Canigou, mines de *Fillols*, de *Sahorre*, etc. (département des Pyrénées-Orientales) ; dans la chaîne des Corbières (Aude). Il est exploité dans la Moselle, le Bas-Rhin, la Côte-d'Or, etc., dans les Vosges, à Framont, lié au carbonate de chaux nacré.

On le trouve en Corse; sur les côtes de Toscane, à Monte-Valerio et à

Gavorrano ; en Sardaigne, près d'Iglesias, à la mine d'Enna-Murta, et associé aux gîtes d'oxydules que nous avons signalés sur ce point. Il domine dans les gisements d'Aïn-Motka et d'Al-Karezas, sur la côte algérienne, en Afrique. Enfin les mines d'Oyarzun, province du Guipuzcoa, le produisent en abondance. Ces divers gisements, sis à proximité des rives de la Méditerranée et de l'Océan, concourent à l'alimentation des usines du sud-ouest et du midi de la France.

Tous ces minerais permettent généralement de fabriquer de fort bons fers.

L'*oligiste micacé*, dont la structure lamelleuse est si caractéristique, est presque toujours associé à la variété précédente sous forme de veinules, de petits rognons brillants, intercalés dans la masse. Il est parfois roulé dans les amas de peroxyde hydraté.

Il existe en filons dans les croupes orientales du mont Sparreguère (chaîne des Albères), et dans les gîtes déjà cités qui s'échelonnent sur les flancs nord du Canigou; enfin à Saint-Paul de Fenouillet et à la Tour de France, au sud des Corbières (Pyrénées-Orientales).

On le trouve aussi à Occas, à Anhaux (Basses-Pyrénées), et disséminé dans les mines de Rancié. Il s'exploite à Laroche-Bernard (Loire-Inférieure); on en connaît deux gîtes dans l'Ille-et-Vilaine et le Morhihan, ainsi que dans le Cantal, et quelques petits filons dans les Alpes.

L'oligiste micacé, généralement très-fusible, donne des fers à nerf, mais sa facilité à s'exfolier et à tomber en poussière, sous l'action d'un feu vif, fait que les forges catalanes, et même les hauts fourneaux, recourent rarement à son emploi.

L'*hématite rouge* se rencontre en masses puissantes concrétionnées, d'un rouge sombre ou violacé, présentant une couche fibreuse et rayonnée. Ce minerai est d'habitude intercalé dans les roches schisteuses du terrain de transition. Presque toujours il est mélangé aux fers hydratés.

Les hématites rouges se rencontrent dans l'Hérault; aux mines de Villerouge, Aude ; et dans presque tous les gisements des Pyrénées déjà mentionnés. A Rancié (Ariége), elles se présentent en couches minces concrétionnées. On les trouve également dans les Vosges et le Puy-de-Dôme.

L'*oxyde compacte*, beaucoup plus commun, constitue des gîtes considérables qui sont la plupart activement exploités; c'est un des meilleurs minerais. Il se présente dans les terrains de transition, dans le lias, à la base du terrain jurassique, etc., en masses terreuses, compactes, à cassure grenue; en grains arrondis plus ou moins agglutinés, ou en poussière. On y observe, dans divers gîtes, des parties passées à l'état d'oxyde de fer. En général, il est mélangé à des peroxydes hydratés et au manganèse, et donne presque toujours des fers de très-bonne qualité.

Il est exploité sur une grande échelle à la Voulte (Ardèche), où il existe

allié à du carbonate, en masses puissantes encaissées dans des calcaires schisteux ; à Baigorry (Basses-Pyrénées) ; dans l'Aude, à Palayrac ; dans la montagne de Causses et sur divers autres points de la chaîne des Corbières; il se rencontre aussi dans les montagnes Noires.

Il s'extrait avec avantage dans la Moselle; les Côtes-du Nord et le Morbihan le renferment aussi. Il est exploité à Framont et à Rothau dans les Vosges, où il est associé à l'oxyde magnétique ; on le trouve dans le Bas-Rhin et à Saulnot (Haute-Saône), au contact des porphyres, etc.

Les oligistes lithoïdes de la Meuse (Belgique), qui viennent approvisionner nos fourneaux du Nord, etc., appartiennent à cette variété. Le Nassau en possède des gisements considérables, qu'on a tenté d'introduire dans la Moselle.

3° PEROXYDE HYDRATÉ. — C'est le minerai le plus répandu et le plus abondant que nous ayons en France ; on le trouve dans tous les terrains. De structure terreuse et prenant toutes les formes, il est généralement moins pur et moins riche que les espèces précédentes, mais il est plus fusible et s'adapte à tous les genres de traitement. Il comprend plusieurs variétés, dont les plus intéressantes sont l'*hématite brune*, concrétionnée, fibreuse, ou mamelonnée; — l'*hydroxyde compacte*, plus ou moins manganésifère ; — la *mine en grains*, pisiforme, miliaire, en géodes, etc. ; — et le fer *hydraté limoneux*. A l'exception de ce dernier, rare chez nous, et pour ainsi dire particulier aux lacs de la Suède où il abonde, toutes ces variétés se rencontrent avec une véritable profusion. Presque toujours elles sont réunies et sont assez généralement manganésifères.

Décrire toutes les localités où apparaissent les peroxydes hydratés, base de la fabrication française, nous entraînerait au delà des bornes de cet exposé ; nous devons nous restreindre à signaler les gîtes les plus considérables des régions où ils sont exploités avec le plus d'activité.

La chaîne des Pyrénées est particulièrement riche en peroxydes : les départements des Pyrénées-Orientales, de l'Ariége et de l'Aude constituent un groupe essentiel, remarquable par l'étendue des gisements, leur richesse et la grande variété des espèces qui s'y trouvent associées.

Les *mines du Canigou* (Pyrénées-Orientales) occupent, à 1 500, à 1 600 mètres d'altitude au-dessus de la mer, une zone ellipsoïdale mesurant, autour de la masse granitoïde qui a percé les terrains stratifiés, près de 16 kilomètres de diamètre. Elles sont dispersées dans un calcaire blanc saccharoïde, parfois très-ferrugineux, reposant sur les granits, ou enclavées dans cette roche qui passe alors au micaschiste ou au talc vert argileux qui pénètre ainsi dans la masse minérale : ou bien, ce sont les minerais qui fusent, à leur tour, en ramifications plus ou moins développées, à travers les granits ; mais ils sont plus particulièrement renfermés

dans les calcaires compactes ou schistoïdes au contact des roches cristallines, soit en stratifications parallèles à la stratification de ceux-là, ou en amas enclavés dans celles ci. Les gîtes du Canigou obéissent tous à la même loi d'origine et de formation; ils se divisent en deux groupes distincts naturellement indiqués par leurs points d'accès. Ici, le groupe de Batère au midi, caractérisé par les mines de *las Indis*, de la *Pinouse*, du *Boulet*, de la *Droguère*, etc., venant déboucher dans la vallée d'Arles ou du Tech. Là, au nord, le groupe de Villefranche ou du Vernet, comprenant les mines d'*Aytua*, de *Torren*, d'*Escarro*, de *Sahorre*, de *Fillols*, etc., qui aboutissent à la vallée de Prades ou de la Têt.

Les minerais de ces deux régions, particulièrement ceux de la première, se distinguent à la fois par leur grande pureté, leur titre élevé et leur richesse en manganèse à l'état libre ou combiné. A leurs excellentes qualités se trouve réunie la plus grande variété : ils consistent, comme on l'a déjà vu, en *fer oxydé, fer hydraté*, *fer spathique* cristallisé et décomposé (mine douce) ; *fer oligiste*, terreux, lithoïde, ou spéculaire, en *oxydulé magnétique;* en *hématites brunes* et *rouges*, enfin en *hydroxydes manganésifères*, compactes, terreux ou en poussière.

Peu de gîtes offrent en effet d'aussi grandes ressources, et bien qu'exploités depuis le treizième et le quatorzième siècle, ils peuvent suffire pendant longtemps encore à la plus large extraction. Il n'est pas douteux que les forges du bassin méditerranéen ne trouvent bientôt là, aujourd'hui que les chemins de fer vont pénétrer à travers ces régions écartées, les approvisionnements qu'elles vont chercher sur les côtes d'Espagne et d'Italie.

Les *mines de Rancié*, près de Vicdessos, dans l'Ariége, nous représentent également un des gisements les plus remarquables par sa richesse ; elles sont encaissées dans un calcaire blanc ou gris plus ou moins cristallin et dans une argile schisteuse. L'ensemble des couches du terrain métallifère adossées au granit paraît appartenir à la partie inférieure du terrain jurassique ; elles sont presque toutes verticales, et l'une d'elles est tellement imprégnée de fer, que le minerai semble être la roche dominante. Ce gîte, qui est travaillé, depuis cinq cents à six cents ans, sur une hauteur verticale de 600 mètres, ne paraît pas près d'être épuisé d'ici à de longues années. Il renferme en première ligne des *hématites brunes*, accompagnées d'*hématite rouge*, d'*oxyde* et de *fer spathique* en partie décomposé. Il a alimenté et il alimente encore un nombre considérable de foyers catalans situés dans le pays et dans les départements voisins.

Le *peroxyde hydraté* s'exploite aussi sur d'autres points de l'Ariége, dans l'arrondissement de Foix, à Tarascon et non loin de la Bastide, d'Ax et de Mirepoix.

Ces minerais constituent dans l'Aude des gisements importants que nous

rapporterons à deux groupes situés l'un au nord, l'autre au midi du département.

Le premier s'étend, dans les montagnes Noires, du sud-ouest au nord-est, du mas Cabardès jusqu'aux environs de Saint-Pons (Hérault); il est caractérisé par les mines de la *Caunette*, l'un des gîtes les plus réputés de cette région; puis viennent, en suivant la chaîne à l'ouest, *Salsignes*, *Villaniere*, *Castanvielle*, *Citou*, etc., etc., encaissées dans les calcaires et les schistes de transition. On y trouve associés, à la *Caunette* notamment, le manganèse et le fer spathique.

Le deuxième groupe est renfermé dans les Corbières, entre Tuchan et Lagrasse. Les minerais sont enclavés dans les calcaires subordonnés aux schistes siluriens supérieurs. On y remarque les mines de *Monthounet*, de *Bordevielle*, de la *Boussole*, du *Roc Noir* et de *Villardebelle*, etc.

Revenant aux Pyrénées, on rencontre encore des hématites dans la Haute-Garonne, au col de Peyre-Sourdes et dans la vallée d'Aure (Hautes-Pyrénées), ainsi qu'à Baigorry.

Des gîtes analogues, encaissés dans les granits, existent en abondance aux confins de la frontière française, dans la vallée de la Bidassoa, sur le territoire espagnol. Une exploitation de ces gîtes, situés au sud-ouest de la petite ville d'Irun, s'est organisée ces derniers temps, pour alimenter les usines des Landes et du sud-ouest de la France, etc.

Au point de vue industriel, il convient de rattacher à cette zone métallifère des Pyrénées si étendue les magnifiques minerais de Sommorostro, province de Bilbao (Espagne), qui concourent au même but.

Le Périgord fournit assez abondamment des peroxydes manganésifères estimés. Ils sont également exploités dans les Vosges; — dans l'Est, département de la Moselle, à Longwy entre autres, sous forme d'hématites brunes, caverneuses, jaunes claires; — dans la Franche-Comté, à Laissey (Doubs); à Ougney (Jura), etc.

L'hydroxyde compacte, beaucoup plus répandu que toutes les variétés citées, forme deux couches considérables dans les formations plus modernes; il est d'ordinaire dur, compacte, à cassure terne avec poussière jaune. — Nous le trouvons dans les terrains jurassique et crétacé, c'est-à-dire qu'il existe sur le territoire partout où ceux-ci apparaissent, sous forme d'amas ou de couches plus ou moins étendus. Il est exploité dans les Vosges, la Marne, la Moselle et les Ardennes; — dans les Basses-Pyrénées, à Balaret; dans l'Ariége, l'Aude, le Lot; l'Aveyron, à *Mont-de-Lezac*; le Puy-de-Dôme, etc., etc.; — la Nièvre, l'Algérie et sur les côtes d'Espagne.

Hydroxydes en grains, oolithiques ou terreux; hydroxydes pisolithiques. Cette variété, qui comprend aussi les *minerais alluviens* est la plus commune. Elle existe à profusion dans le lias, à tous les étages de la forma-

tion oolithique et crétacée et dans les dépôts tertiaires qui les recouvrent Ces minerais sont en grains agglutinés, ou isolés dans les fentes ou les érosions de ces calcaires.

Avant de poursuivre, expliquons ce que sont les minerais d'alluvion. Ils datent de la formation des hydroxydes pisolithiques, et sont déposés dans les argiles du terrain tertiaire superposées en différents points aux dernières assises du crétacé jurassique. Ils se manifestent surtout dans la vallée du Cher, à *Chanteloup*, à *Saint-Florent*, etc., etc.; ils constituent des dépôts superficiels dans le Nivernais, le Bourbonnais et le Bas-Rhin. Dans la Moselle, ils règnent au pied des falaises de la grande oolithe; telles sont les mines de Saint-Pancré. Ce sont, au demeurant, des minerais remaniés, tantôt disséminés, tantôt réunis par un ciment ferrugineux ou calcaire, et provenant essentiellement des minerais des formations antérieures.

Ils se distinguent de ceux de l'oolhite par la grosseur des grains pisiformes plus considérables, plus irréguliers, et se trouvent dans les mêmes régions que les minerais intercalés; on n'y voit jamais de stratification, et ils renferment assez fréquemment des fossiles et des débris d'ossements d'animaux antérieurs à la période alluvienne. Ceci dit, ils n'offrent pas, au point de vue pratique, la moindre différence avec les minerais jurassiques. Ils se rencontrent indistinctement dans tous les terrains à des niveaux variables, remplissant les dépressions du sol ou les anfractuosités des roches sous-jacentes. Il n'y a donc pas intérêt à faire ici une distinction que les maîtres de forges ne cherchent point à établir, et nous avons cru devoir les confondre dans la généralité des minerais de l'époque jurassique dont ils dérivent la plupart.

Les hydroxydes sont généralement très-friables, mais par contre d'une teneur médiocre et souvent associés à des substances étrangères parmi lesquelles domine le phosphore. Ici ils donnent des fers passables, là des fontes très-bonnes pour les moulages, ou des fers excellents ou très-rouverains, suivant les localités, ou les lieux de gisement. Ils jouent, quels qu'ils soient, un très-grand rôle dans la fabrication française; plus que tous autres, ils ont aidé au développement de notre industrie sidérurgique; c'est par eux que sont alimentés les centres de fabrication les plus productifs, du Berry, de la Marne, de l'Est, de la Franche-Comté, etc. A ce titre, il est intéressant d'entrer dans quelques détails sur la situation et les caractères généraux des principaux gîtes de notre territoire.

Dans la Franche-Comté, les hydroxydes se rencontrent au contact des frontières jurassique et crétacée en petits grains brunâtres agglutinés; tels sont ceux des mines de *Boucheruns*, des *Fourgs* et des *Longuevilles*, etc., dans le Doubs et dans le Jura, à *Malange*.

Ils ont la forme miliaire dans la Haute-Saône, c'est-à-dire en grains pisiformes, déposés en couches concentriques entourées d'argile marneuse:

ces couches se manifestent la plupart dans des dépôts tertiaires reposant sur des dépressions de l'oolithe supérieure. Entre autres localités où ils sont exploités (variété miliaire), citons Calmoutiers, Fleury-les-Faverney, Pisseloup, Noroy-l'Archevêque ; — (variété pisiforme), Permes, Autrey, Gray, Marnay, etc.

Dans les Ardennes, à Chauvency, à Steney, à Thonnelle, etc., etc.; ils sont en grains pisiformes, bruns ou gris, empâtés d'argile, assez riches la plupart, mais un peu réfractaires : ils fournissent des fers nerveux, un peu secs, durs et de moindre qualité que ceux de la Franche-Comté.

La Meuse, la Meurthe et la Moselle surtout, possèdent des gîtes aussi nombreux qu'étendus d'hydroxydes en grains ou en rognons agglutinés par un ciment ferrugineux-calcaire, rouge brunâtre ou ocreux. Ils sont renfermés sous des sables argileux assez terreux ou dans des marnes compactes grisâtres, micacées, qui remplissent des cavités du terrain jurassique.

La variété oolithique qui occupe l'étage inférieur de cette formation, est d'une extrême abondance dans le département de la Moselle. Elle constitue deux classes distinctes qui sont exploitées très-activement dans les petites vallées de l'Orne, du Conroi, de la Fensch, de la Chiers, etc., arrondissements de Briey et de Thionville. Ici des minerais oolithiques hydroxydés en couches au-dessus des marnes, là disséminés en rognons ou en grains dans les argiles : enfin, on trouve encore ces minerais roulés dans les sables d'alluvion déposés au pied de l'étage inférieur de la grande oolithe. Parmi ces nombreux gîtes qui se manifestent également dans la vallée de la Moselle, à Novéant, à Pagny et au delà, mentionnons les Mines de Moyeuvre, de Hayange, de Saint-Pancré, d'Aumetz, d'Audun-le-Tiche, de Knutange, d'Ottange, de Lexy, de mont Saint-Martin, de Moulaine, de Villerupt, de Florange, etc. Ces minerais donnent, suivant la nature des gisements, des fers forts et des fontes de moulage excellentes (1).

La Haute-Marne est plus riche encore en minerais de fer ; ils présentent le même mode de gisement, se rencontrent principalement dans le deuxième étage jurassique et à la base du terrain crétacé, en grains isolés, en plaquettes ou agglutinés. — Ils sont exploités à Château-Vilain, Jonchery, Orges, Blessonville, Marans, Percy-le-Petit. — En couches concentriques, à très-petits grains entourés d'argile, sur les territoires de Ragecourt, de Cheminon, d'Hevillers, de Sommevoire, de Prez-sur-Marne, d'Eurville, et dans la vallée de la Blaise; ils existent dans un banc de sable siliceux grossier, sous forme d'amas considérables, compactes à Chantonrupt, à Nomécourt, à Prez-sur-Marne, à Bettancourt, etc.

Enfin les hydroxydes s'extrayent, sous le nom de *mine de roche*, des

(1) Consulter sur les mines de la Moselle un travail détaillé de M. Eug. Jacquot, ingénieur. *Annales des Mines*, 4e série, t. XVI, p. 427, et la notice de M. Levallois, ingénieur en chef, même volume, p. 291.



fentes et des anfractuosités du calcaire jurassique à *Joinville*, à *Sailly*, à *Mortreuil*, à *Saint-Hubert*, à *Val d'Osne*, etc. (1).

Ces minerais sont généralement peu riches, mais donnent de très-bonnes fontes et des fers estimés.

Le Berry, le Nivernais et le Bourbonnais produisent les mêmes variétés de minerais : ils se rencontrent dans les argiles de l'étage supérieur du terrain jurassique, en grains, soit en masses concrétionnées, soit en rognons agglutinés par un ciment ocreux mélangé de quartz ou bien de ciment calcaire.

Les exploitations de ces régions sont concentrées dans les vallées du Cher, d'Aubois et de l'Auron.

Les minerais en grains sont également exploités dans l'Indre, la Vendée, la Charente, etc. ; dans le département de l'Ain, à Villebois ; à *Châtillon-sur-Seine* (Côte-d'Or) ; *aux Arques* (Lot), ainsi que dans le Lot-et-Garonne, la Dordogne, la Vienne, etc., soit en grains agglutinés, soit en grains isolés, au sein d'îlots tertiaires superposés à la craie. Les minerais du Périgord sont assez riches et réputés pour la qualité de leurs fers.

Sans insister davantage sur ces détails, on voit que les oxydes globuliformes sont les plus abondants, et qu'ils fournissent, en effet, les éléments les plus actifs de notre industrie sidérurgique.

II. — MINERAIS CARBONATÉS.

Cette espèce de minerais, si justement recherchée, existe particulièrement dans les terrains de transition inférieurs et supérieurs ; dans la formation houillère, à la base du lias et parfois dans les terrains postérieurs. Elle se présente soit en filons, soit en amas, ou bien encore en couches stratifiées avec la roche encaissante.

Elle comprend trois variétés :

Le *fer spathique*, *fer carbonaté* ou *sidérose*.

Le *fer spathique décomposé*. (*Mine douce*.)

Et le *fer carbonaté lithoïde* ou des houillères.

Toutes les trois ont une grande importance dans la sidérurgie. Les deux premières sortes surtout produisent des fers nerveux, de qualité remarquable, particulièrement recherchés dans la fabrication des aciers. Les fers et les fontes lamelleuses ou spiegeleisen du pays de Siegen, de la Styrie, etc., fabriqués avec ces minerais seuls ou mélangés, jouissent d'une réputation incontestée.

A. Le *fer carbonaté des houillères* est assez peu répandu dans les bassins français. Il est en général siliceux ou quartzeux. Compacte ou schisteux et

(1) Voir sur les gisements de la Champagne et de la Franche-Comté les mémoires de M. Thirria, *Annales des Mines*, 3e série, 1836, t. X et t. XV, p. 11 ; 1820.

presque toujours concentré dans quelques couches d'un bassin; il s'y présente sous la forme habituelle de rognons ellipsoïdaux d'une couleur brune, noirâtre ou gris ardoisé, stratifiés dans les couches argileuses. — Il se compose d'argile et de carbonate de fer parfois mélangés de pyrites. Ces rognons contiennent assez fréquemment un noyau d'argile, de pyrite, ou encore des fossiles qui semblent avoir déterminé la précipitation chimique. Les fers carbonatés appartiennent presque toujours aux mêmes assises : ce sont les minerais désignés en Angleterre sous le nom de *blackband,* qui joue un rôle si considérable dans sa fabrication.

On les connaît en France dans l'Allier; — dans le bassin de Saint-Etienne, concession du Breuil; à la mine de Cros, en masses puissantes, assez impures, encaissées dans des bancs d'argile; pareillement aux environs de Saint-Chamond. — Le bassin d'Aubin (Aveyron) est de tous celui qui le renferme le plus abondamment. Il existe aussi au Vigan; — dans le Gard, concession de la Grande-Combe, à Palmesalade, ainsi que dans le département de Saône-et-Loire, près de Beauchamp, et dans les schistes houillers de Ronchamp. Il est exploité dans les régions citées pour l'alimentation des hauts fourneaux du Creusot, d'Alais et de Decazeville. — On les trouve encore dans le bassin du Nord, à Anzin et aux environs de Marquise.

Cette espèce de minerai, en France du moins, est de qualité médiocre, coûte assez cher d'extraction et n'a qu'un intérêt secondaire comparativement aux autres minerais moins dispendieux à exploiter et d'un traitement facile et beaucoup plus avantageux.

B. *Le fer spathique* pur ou *sidérose* est blanc, avec une teinte jaunâtre, brunissant à l'air; à texture compacte, tantôt cristalline ou lamelleuse; il est associé au manganèse et quelquefois mélangé de magnésie, de baryte, de carbonate de chaux et de roches schisteuses. On y trouve de temps en temps de la pyrite de cuivre disséminé ou en petites veinules, d'où la nécessité de le soumettre à un grillage préalable et de le laisser, comme en beaucoup de pays, séjourner à l'air.

Il a été signalé dans les mines du Canigou, où il existe en masses puissantes, d'une remarquable pureté, soit à la mine *Rarnac*, concession du Boulet (Batère); *Rocas Negras*, *las Canals*, etc.; — à *Torren* et à *Camélas* (Pyrénées-Orientales). Mentionnons encore sa présence à *Ustiliguy,* aux mines de Baigorry et dans la Haute-Garonne et dans l'Aude. — Les fers spathiques s'exploitent dans le département de l'Isère à *Allevard,* à *Vizille* mines de *Fayard*, de l'*Articole*, etc.; — en Savoie, à l'ancienne mine de *Saint-Georges de Heurtières*, vallée de l'Arc; — aux environs d'Autun, Saône-et-Loire; — dans le Tarn et le Puy-de-Dôme, à Hermet.

Enfin les mines de la Bidassoa (Guipuzcoa) en renferment de magnifiques filons, susceptibles de subvenir à une large extraction.

C. Le *carbonate décomposé* (mine douce) est dû à la transformation de la sidérose en peroxyde. Il dérive donc de la variété précédente, soit par la

décomposition lente à l'air, ou dans l'intérieur des filons, en laissant dégager l'acide carbonique et par la conversion de la magnésie en bicarbonate soluble que les eaux entraînent. Il accompagne presque partout les gîtes de celui-ci, mélangé à divers hydrates isolés, ou en filons formant des amas compactes, ou terreux pulvérulents; il a une teinte brune, noirâtre, tachant fortement les doigts. C'est un minerai excellent, en général fort riche, très-facile à fondre et donnant des produits d'élite. Il existe dans presque tous les gisements de l'Isère, de l'Aude, des Pyrénées et de l'Ariége.

III. — MINERAIS SILICIÉS.

Ce sont des minerais où la silice est combinée avec le peroxyde de fer anhydre ou le peroxyde hydraté : ils sont peu communs et ne sont exploités que très-secondairement. Les basaltes volcaniques sont des minerais siliceux, ainsi que les jaspes et les grenats ; les premiers se trouvent en masses considérables dans le Cantal, le Puy-de-Dôme, l'Ardèche et l'Hérault : les grenats et les jaspes sont disséminés dans les Alpes (Isère) et les Pyrénées.

Le minerai de Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord) est un silicate associé à l'oxyde magnétique.

IV. — MINERAIS DIVERS.

Fers sulfurés, phosphates de fer et arséniures. — Ces minerais sont inexploités comme minerais de fer.

Le *fer chromé* existe en filons dans le Var et l'Aveyron.

Le *fer titané* constitue un gîte puissant à Maisdon (Loire-Inférieure), on le trouve aussi dans le Puy-de-Dôme et la Corrèze, etc.; là se rencontre aussi le wolfram, qu'on a cherché à utiliser sans grand succès.

Pour coordonner l'ensemble de ces données sommaires sur la nature, le gisement et la qualité des minerais employés dans la fabrication et l'état dans lesquels ils se présentent le plus communément, nous résumons dans le tableau récapitulatif suivant, les espèces propres à chaque département et leur lieu de consommation.

TABLEAU PAR DÉPARTEMENT

des variétés de minerais de fer qui y sont exploités et des lieux de consommation.

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION SUCCINCTE des Minerais extraits, Composition chimique, SITUATION GÉOLOGIQUE.	DESTINATION OU EMPLOI DES MINERAIS.
Ain	Fer hydroxydé oolithique, à la base du calcaire oolithique	Les départements du Rhône et de la Loire.
Allier	Hématite brune dans le terrain de transition	Le département de Saône-et-Loire.
Ardèche	Fer oxydé rouge dans le terrain jurassique	Le département même, la Loire, le Rhône et l'Isère.
Ardennes	Minerai en grains très-fins, dans une argile ocreuse; grains et fragments irréguliers dans une argile grise calcaire	Le département même et celui de la Meuse.
Ariége	Minerai noir et rouge avec fer magnétique et pyrite de fer	Le département même, ceux de l'Aude, de la Haute-Garonne et des Hautes-Pyrénées.
Aube	Hydroxyde de fer en grains très-fins et agglutinés, formant une couche de texture finement oolithique, au milieu des argiles néocomiennes supérieures	Le département même et celui de la Côte-d'Or.
Aude	Fer hydraté, hématite	Dans le département même.
Aveyron	Fer carbonaté, hydroxyde oolithique	Dans le département même.
Charente	Hydroxyde en couche dans divers terrains secondaires	Dans le département même.
Cher	Minerai en couche dans la formation du grès vert, et minerai en grains	Dans le département même et dans ceux de l'Allier, l'Indre, la Nièvre et Saône-et-Loire.
Corrèze	Hydroxyde	Dans le département même.
Côte-d'Or	Minerai pisolithique formant des plaques dans le terrain tertiaire; fer hydroxydé et fer oligiste.	Dans le département même et ceux de la Haute-Marne et de la Haute-Saône.
Côtes-du-Nord	Silico-aluminate et oxydule de fer en amas dans des schistes modifiés, hydroxyde en veines et amas dans le terrain de transition	Dans le département même.
Dordogne	Hydroxyde dans les terrains tertiaires et jurassiques	Dans le département même et dans ceux de la Charente, du Lot et de la Haute-Vienne.
Doubs	Hydroxyde en grains réguliers et irréguliers, mélangé de sable et d'argile	Le département et la Haute-Saône.
Drôme	Hydroxyde en amas dans le terrain crétacé	Dans le département même.
Eure	Fer oxydé limoneux	Dans le département même.
Eure-et-Loir	Fer hydroxydé limoneux en fragments irréguliers.	Dans le département même.
Gard	Hydroxyde brun, en filons et amas, fer oxydé rouge et fer carbonaté lithoïde, en couche verticale, au milieu des poudingues du terrain houiller	Dans le département même.
Gironde	Hydroxyde en grains et amas disséminés dans les sables	Le département et les Landes.
Haute-Savoie	Fer spathique; oligiste et oxydulé	Dans le département.
Hérault	Fer oligiste micacé et fer oxydulé dans les terrains de transition	Le département même, l'Aude et le Tarn.
Ille et-Vilaine	Hydroxyde disséminé dans une argile tertiaire, et hydroxyde en amas dans le terrain de transition	Dans le département même.
Indre	Hydroxyde en grains et fragments irréguliers disséminés dans les étages supérieurs des terrains tertiaires	Le département même et celui de la Haute-Vienne.

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION SUCCINCTE des Minerais extraits, Composition chimique, SITUATION GÉOLOGIQUE.	DESTINATION OU EMPLOI DES MINERAIS.
Indre-et-Loire	Même nature de minerai	Le département même.
Isère	Fer hydraté oolithique, et fer carbonaté spathique.	Le département même.
Jura	Hydroxyde en fragments irréguliers, mélangé d'argile et de sable; fer hydroxydé oolithique, avec ciment calcaire, formant un minerai en roche	Le département même et ceux de la Côte-d'Or, du Doubs et de la Loire.
Landes	Fer hydroxydé et fer carbonaté dans des calcaires; fer oligiste en paillettes dans une argile	Le département même.
Loire	Fer carbonaté lithoide en couches et en rognons dans le terrain houiller; fer oxydé hydraté	Le département même et celui du Rhône.
Loir-et-Cher	Hydroxyde en grains et fragments irréguliers disséminés dans les étages supérieurs des terrains tertiaires	Le département même, l'Indre et l'Indre-et-Loire.
Loire Inférieure	Hydroxyde en fragments dans le terrain tertiaire moyen	Le département même et celui de Maine et Loire
Lot	Hydroxyde dans le terrain tertiaire	Le département même.
Lot-et-Garonne	Fer oxydé hydraté	Le département même et la Gironde
Manche	Hématite brune en roche	Le département même.
Marne	Hydroxyde en grains disséminé dans des alluvions qui recouvrent l'étage inférieur du terrain tertiaire	Le département même.
Marne (Haute-)	Minerai d'alluvion, provenant d'un remaniement du grès vert; minerai oolithique du 1er étage jurassique; hydroxyde géodique de la partie inférieure du grès vert	Le département même et ceux de la Côte-d'Or, de la Meuse et des Vosges.
Mayenne	Hydroxyde en grains et en rognons	Les hauts fourneaux du département.
Meurthe	Hydroxyde en couches, subordonné à l'oolithe inférieure	Les hauts fourneaux du département et de celui des Vosges.
Meuse	Peroxyde hydraté en grains, fragments irréguliers dans une gangue argileuse, déposée dans les cavités du terrain jurassique	Les hauts fourneaux du département.
Morbihan	Fer oligiste en amas dans des quartzites de transition; hydroxyde dans des schistes modifiés. hématite rouge et brune dans des quartzites de transition	Dans le département même et dans l'Ille-et-Vilaine.
Moselle	Hydroxyde disséminé dans des alluvions qui recouvrent l'oolithe inférieur; fer oxydé oolithique en couche qui repose sur l'oolithe inférieure	Dans le département même, dans ceux des Ardennes et de la Meuse et en Prusse
Nièvre	Minerai en grains et minerai oolithique pulvérulent	Le département même et Saône-et-Loire.
Nord	Fer peroxydé rouge en grains disséminé dans une argile superposée au terrain de transition supérieur	Les hauts fourneaux du département.
Orne	Hydroxyde avec fragments de quartz; hématite brune dans le terrain de transition	Le département même, l'Eure et Eure-et-Loir.
Pas-de-Calais	Hydroxyde en grains, en géodes et en petites masses amorphes; hydroxyde carbonaté en rognons, en géodes et en masses amorphes, amas superficiels	Le département même et celui du Nord.
Puy de Dôme	Hydroxyde jaune en bancs irréguliers dans le schiste talqueux	Le département de la Corrèze.

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION SUCCINCTE des Minerais extraits, Composition chimique, SITUATION GÉOLOGIQUE.	DESTINATION OU EMPLOI DES MINERAIS.
Pyrénées (Basses-)...	Fer oxydé rouge avec pyrite de cuivre; hématite rouge; fer spathique hydroxydé siliceux......	Le département même.
Pyrénées-Orientales..	Hydroxyde; hématite rouge; fer oligiste micacé; fer spathique compacte et souvent altéré......	Le département même et celui de l'Aube.
Rhin (Bas-).........	Débris d'oetites du lias; minerai pisolithique subordonné à une argile tertiaire reposant sur le calcaire oolithique et recouvert de loess	*Idem.*
Rhin (Haut-)........	Hydroxyde en grains dans une argile superficielle, reposant sur le calcaire jurassique; fer oxydé pisiforme avec argile et calcaire en fragments, remplissant des cavités dans le calcaire jurassique....................................	*Idem.*
Saône (Haute-).	Hydroxyde en grains très-fins, constituant une couche subordonnée à l'argile d'Oxford; hydroxyde oolithique à la partie supérieure de la formation du lias ou à la partie inférieure du terrain jurassique.........................	Le département même, ceux de la Côte-d'Or, du Doubs, du Jura, de l'Isère, de la Haute-Marne et du Rhône.
Saône et-Loire..... .	Hydroxyde amorphe, disséminé dans des argiles avec quartz du terrain tertiaire supérieur; hydroxyde oolithique en couches à peu près horizontales......	Le département même et ceux du Rhône et de la Loire.
Sarthe.............	Hydroxyde en rognons irréguliers............	Le département même et celui de la Mayenne.
Tarn...............	Minerais en grains argileux..................	Le département même.
Tarn-et-Garonne.....	Même nature.............................	*Idem.*
Vaucluse...........	Hydroxyde concrétionné dans le terrain néocomien; hydroxyde en petites couches et en amas dans les sables tertiaires.........................	*Idem.*
Vienne.............	Minerai en grains dans le terrain tertiaire moyen.	Le département même, ceux de l'Indre et de la Haute-Vienne.
Vosges.............	Hydroxyde en petits fragments irréguliers, disséminés dans des alluvions reposant sur le calcaire; fer oxydé en rognons appartenant à l'argile d'Oxford; fer oligiste, minerai oolithique, etc..................................	*Idem.*
Yonne..............	Hydroxyde en grains très-fins disséminés dans des alluvions ou formant des couches déposées dans des argiles appartenant au terrain oxfordien...	Le département même et celui de la Côte-d'Or.

Il ressort de cette nomenclature que les minerais de la France sont représentés sur sa surface de la façon suivante :

A. Région *nord*. Cette région renferme des *hématites brunes*, du *peroxyde compacte* et quelque peu de *fer oxydulé* concentré dans les Côtes-du-Nord, le Morbihan, le Calvados et la Loire-Inférieure.

B. Région *nord-est*. C'est la plus riche en minerai ; elle est représentée par les départements de la Meuse, de la Moselle et des Ardennes, avec les *hydroxydes granulaires* ou *compactes* et quelques peroxydes anhydres. —

L'Oise, le Pas-de-Calais, le Nord et la Meurthe, possèdent les mêmes variétés, mais en quantités infiniment moindres, et le Nord renferme des *fers carbonatés* dans les terrains houillers.

C. Région *nord-ouest*, comprenant la Mayenne, la Sarthe, l'Orne, l'Eure et l'Eure-et-Loir, fournit des *hydroxydes fragmentaires*. La partie sud de la Moselle et la chaîne des Vosges ont des gîtes assez importants d'*hématites brunes* et de *fer spathique*.

D. La région *est*, embrassant la Meuse, la Haute-Marne, la Haute-Saône, le Doubs, le Jura et la Côte-d'Or, se distingue par des gîtes sans nombre d'*hydroxydes* en grains et les minerais en roche.

E. Dans la région du *centre oriental*, on trouve les mêmes minerais : Cher, Allier, la Vienne, la Nièvre et le département de Saône-et-Loire, etc. ; — du *fer spathique* dans le Puy-de-Dôme ; — dans l'Aveyron, le *fer carbonaté lithoïde* et le *minerai oolithique*.

F. Les Deux-Sèvres, la Charente, le Loiret, le Loire-et-Cher, l'Indre, la Vienne, etc., région du *centre occidental*, ont des gisements de même nature, présentant des caractères semblables.

G. La région du *sud* est remarquable par la pureté et la richesse de ses minerais. C'est là que les forges du bassin méditerranéen doivent puiser un jour leur principale alimentation et c'est là aussi que l'industrie sidérurgique trouvera ses éléments de succès les plus certains. En effet, les Pyrénées-Orientales, les Hautes-Pyrénées, l'Ariége, la Haute-Garonne, l'Aude, l'Hérault, renferment le *fer spathique*, l'*oxydulé*, les *hématites brunes*, les *hydroxydes compactes manganésifères*, la *mine douce* et le *fer oligiste*, la plupart en gîtes très-considérables.

H. Dans le *sud-ouest*, l'*hydroxyde compacte* ou *en grains* figure encore comme minerai essentiel, réparti dans les Landes, la Dordogne, le Lot, le Lot-et-Garonne et le Tarn-et-Garonne.

I. Au *sud-est*, le *fer carbonaté lithoïde* existe dans tous les bassins houillers de la Loire et du Gard. — L'*hydroxyde oolithique*, dans l'Ain et dans l'Ardèche ; — les *oxydes rouges* et les *hématites rouges*, — et les *hydroxydes argileux* du Gard.

Enfin dans les Alpes, l'Isère et la Savoie, on rencontre le *fer spathique*, l'*oligiste* et la *mine douce ;* et en descendant vers la mer, dans

les Basses-Alpes, le Var et les Alpes-Maritimes, des *hydroxydes* en fragments et quelques variétés qui n'ont qu'une valeur minéralogique.

Mais c'est à la profusion des hydroxydes globuliformes terreux ou compactes, répartis si uniformément sur le territoire et d'une extraction si économique, que l'industrie sidérurgique est redevable en France de ses progrès et de ses développements.

V. — ANALYSES.

Nous aurions désiré, pour compléter cet aperçu, pouvoir donner, ainsi que l'a fait l'auteur pour les minerais de la Grande-Bretagne, des analyses complètes et détaillées de nos minerais; mais ce travail, qui aurait tant d'intérêt, n'existe pas, l'administration n'ayant pas jugé à propos d'en prendre l'initiative. Nous serons donc obligé d'emprunter à des recueils et à des documents épars, sans corrélation et de dates déjà assez anciennes, les analyses que nous reproduisons ici. Des analyses qui ne se font pas en vue d'un ensemble de faits déterminés ne peuvent être prises qu'à titre de simples renseignements. Il faudrait pouvoir les mettre en regard des méthodes suivies dans chaque établissement et pouvoir relater la composition des lits de fusion adoptés pour chacun d'eux, afin d'en apprécier le mérite et l'efficacité.

TABLEAU I. — PEROXYDE DE FER ANHYDRE.

	FER OXYDULÉ.						FER OLIGISTE.						HÉMATITES ROUGES.		MINERAIS COMPACTES.				
	1.	2.	3.	4.	5 a.	5 b.	6.	7 a.	7 b.	8 a.	8 b.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Protoxyde de fer..........	»	»	26 20	22.30	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Peroxyde de fer............	62.50	80.55	58.50	49.70	»	73.60	98.90	88.20	92.60	90.30	81.65	83.50	67.70	76.60	58.00	99.00	66.00	94.00	85.00
Fer oxydulé...............	24.90	17.45	»	»	81.60	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Fer titané..................	»	»	»	»	»	»	»	»	»	7.25	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Acide titanique............	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1.25	»	»	»	»	»	»	»	»
Oxyde de manganèse..........	»	»	»	»	3.60	3.00	»	»	Non dosé.	»	2 50	0.50	»	»	»	0.40	2.50	2 00	5.00
Acide phosphorique..........	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0.30	traces	»	»	»	»	»
Silice.....................	»	»	»	»	»	»	»	10.00	»	»	»	10.00	4.40	»	42.00	»	16.80	2.00	»
Alumine....................	»	»	»	»	5.60	6.00	»	0.55	»	»	»	1.40	5.80	5.50	»	»	2.00	»	0.80
Carbonate de chaux..........	»	»	»	»	»	»	»	1 80	»	»	»	4.60	1.20	»	»	»	4.40	»	13.80
Carbonate de magnésie......	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	3.70	»	traces
Quartz....................	»	»	»	»	6.00	5.20	1 10	»	»	1 35	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Gangue....................	12.60	2.00	15.30	28.00	»	»	»	»	5.60	»	13.40	»	16.50	12.50	»	0 40	»	»	14.00
Eau.......................	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1.20	»	4.10	4.60	»	»	2.80	2.00	4.00
Perte au feu................	»	»	»	»	2.20	12.40	»	0.43	1.00	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	100 00	100.00	100 00	100.00	99.00	100.20	100 00	100.98	99.20	98.90	100.00	10.000	100.00	99.20	100.00	99.80	98.20	100.00	»
Fer à l'essai..............	»	»	61.00	52.00	60.50	52.60	»	61.74	64.80	»	»	»	»	»	41.00	71.80	»	»	»

1. Minerai magnétique d'IGLESIAS (*Sardaigne*), presque compacte, d'un gris foncé; éclat métallique peu prononcé; poussière brune. Gangue intimement mélangée avec les oxydes de fer; paraît être un silicate de protoxyde et de peroxyde; en filon très-puissant dans les schistes métamorphiques. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 435.)

2. Minerai magnétique de BALAIGT (*Pyrénées-Orientales*) compacte, noir, peu brillant; poussière brun foncé. La gangue est un mélange de quartz et de schistes; en filon dans les schistes. (Rivot, *Docimasie*.)

3. Minerai magnétique de VILLEFRANCHE (*Aveyron*), amorphe, zoné de gneiss; à poussière grise; fonte grise, malléable. (Berthier, *Essais*, t. II, p. 235.)

4. Minerai magnétique du VIGAN (*Hérault*), zoné avec une roche granitoïde blanche; en couches puissantes; fonte grise, douce. (Berthier, *Essais*, t. II, p. 235.)

5. Fer oxydulé de PUYMORENS (*Ariége*); gangue argileuse manganésifère, assez difficile à traiter; texture compacte. *a*. Minerai sans altération apparente; densité = 4.263.

b. Variété de minerai marchand où l'oxydule est passé en totalité à l'état d'hydroxyde.

(François, *Recherches des minerais de fer dans les Pyrénées*; 1843, p. 89.)

6. Fer oligiste de *Sardaigne*; micacé, gris légèrement violacé, éclat métallique très-vif; trop divisé pour être utilisé dans les hauts fourneaux. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 429.)

7. Fer oligiste du *Guipuzcoa*. *a*. Minerai violet d'OYARZUN, filon encaissé dans le granit; analyse de M. Schickedenz, d'Anvers.

b. Oligiste violacé compacte de SAN EMILIO (*Bidassoa*); analyse de M. Moissenet; fonte blanche malléable contenant 0.17 pour 100 de soufre et des traces de silicium.

8. Minerai oligiste d'*Algérie*. *a*. Minerai d'AIN-MOKTA, près Bone. Masses d'un gris foncé; éclat métallique assez vif; texture cristalline; quelques veinules de fer oxydulé.

b. Minerai du CAP FALCON. Masses presque compactes, avec mica; gris tirant sur le violet; éclat métallique dans certaines parties; tache faiblement les doigts et le papier. (Analyses de Rivot, *Docimasie*.)

9. Fer oligiste de VEZIN (*Namur*). Minerai violet à texture grenue, remarquable par la grosseur identique des grains, de couleur gris bleuâtre; poussière rouge foncé. (Valérius, *Traité de la fonte*, p. 126.)

10. Minerai rouge du *Nassau*, compacte et terreux; rouge violacé, sans éclat; tache les doigts et le papier. Du calcaire, du quartz et de l'argile sont en grains irrégulièrement mélangés avec l'oxyde de fer. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 449.)

11. Minerai rouge de THOSTES (*Cote-d'Or*) en grains arrondis, empâtés dans une argile compacte; couleur rouge violacé; tache fortement les doigts. (Rivot, *Docimasie*.)

12. Minerai de LA ROCHE-BERNARD (*Loire-Inférieure*), schisteux, micacé, d'un gris métallique très-éclatant, intimement mêlé de quartz et d'un peu de mica; fonte blanche, lamelleuse. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 223.)

13. Minerai compacte de la *Moselle*; amorphe, à cassure inégale, grenue et mate, d'un rouge foncé; fonte grise, malléable. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 223.)

14. Minerai compacte de LA VOULTE (*Ardèche*), d'un rouge foncé; il forme des bancs épais, intercalés dans le lias et accompagnés de fer carbonaté argileux. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 223.)

15. Minerai compacte de FRAMONT (*Vosges*), associé à une faible quantité d'oxyde magnétique; formant des plaques d'une immense étendue dans le terrain de transition. (Analyse de Daubuisson, *Ann. des Mines*, 1822.)

16. Minerai compacte de SAULNOT (*Haute-Saône*), en amas ou en filons dans un porphyre subordonné au terrain de transition; on l'exploite pour les hauts fourneaux de Ronchamp, etc. (Analyse de Thirria et Ebelmen. *Ann. des Mines*, 1839.)



TABLEAU II. — PEROXYDE DE FER HYDRATÉ.

	HÉMATITES BRUNES.													HÉMATITES ET HYDROXYDES ASSOCIÉS.									
	1			2		3.	4.	5					6.	7		8.	9.	10			11		12.
	a.	b.	c.	a.	b.			a.	b.	c.	d.	e.		a.	b.			a.	b.	c.	a.	b.	
Peroxyde de fer..	75.05	78.57	70.10	75.00	65.20	67.65	85.10	74,00	79 00	75 00	82.20	79.10	70.00	83.24	83.17	78.61	77.80	73.12	67.62	81.69	81.00	85.23	77.88
Oxyde de mangan.	1.45	0.70	3.65	Non dosé.	4.40	»	»	4.50	6.50	6.00	3.60	2.15	1.50	Non dosé.	Non dosé.	5.03	5.94	4.88	5 44	Non dosé.	5.46	Non dosé.	6.04
Chaux...	»	4.10	0.32	»	»	»	»	»	»	»	»	0.70	»	0.51	0.79	0.90	traces	0.50	12 66	0.59	4.64	0.46	0 61
Magnésie.	»	1.00	0.23	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	traces	»	»	0.31	»	traces	»	traces
Alumine.	»	»	6 33	»	»	2.60	»	»	»	»	»	0.30	»	1.34	1.12	»	»	»	»	1 01	»	1.33	»
Silice....	»	5 20	13.66	»	»	18.35	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Argile...	12 50	»	»	13.30	17.60	»	2.70	11.50	2.50	»	2 00	3.40	14.50	3 27	2.15	4.02	5.96	4.84	1.12	9 66	1.34	5.73	5.08
Quartz...	»	»	»			»	»	»	»	11.00	»		»										
Eau.....	11.00	»	»	»	»	11.07	12.20	10.00	12.00	8.00	12.20	»	13.25	11 71	12 28	»	»	»	»	7.73	»	7.01	»
Perte au feu.....	»	10.43	5.71	11 60	12.60	0 33	»	»	»	»	»	14.60	»	»	»	10.70	9.34	9.24	13.00	»	7.10	»	11.56
	100 00	100.00	100.00	99.90	99 80	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.25	99.25	100.07	99.51	99.86	99.04	92.58	100 15	100.68	99 54	99.76	101.77
Fer à l'essai..	»	56 25	56.40	55 50	56.00	»	61.50	»	»	»	»	54.77	»	57 00	57.00	55.65	54.80	51 20	47.30	54 00	56.70	56.50	54.50

1. Minerai de SOMMOROSTRO (*Bilbao*, Espagne), compacte, brun foncé; cassure unie un peu brillante; *a*. analyse de l'Ecole impériale des mines (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 449); *b*. minerai provenant de l'exploitation du *Campanil*; *c*. minerai de *Ollargan*; les analyses *b* et *c* ont été remises par P. de Errasquin, de Madrid.

2. Minerai du *Guipuzcoa*; *a*. hématite fibreuse de San Emilio; fonte blanche à grain fin, tenace; *b*. hématite brune du filon de San Emilio; fonte blanche, dure, tenace. Analyses de l'Ecole impériale de mines; l'oxyde de fer comprend l'alumine.

3. Hématite de LIGNY (*Namur*); en fragments et concrétionnée; de couleur jaune passant au brun; se rencontre en amas. (Valérius, *Traité de la fonte*, t. II, p. 132.)

4. Hématite de LONGWY (*Moselle*); masse caverneuse, veinée de jaune brun et de jaune plus clair. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 227.)

5. Hématite de RANCIÉ (*Ariége*), brune, mamelonnée, en couche très-épaisse dans un calcaire compacte de transition; *a* et *b* sont bruns, presque noirs, à texture compacte et à poussière d'un brun très-foncé; *c* provient d'un autre gisement à gangue quartzeuse. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 449); *d*. analyse de Berthier (*Traité*, t. II, p. 227); *e*. minerai associé à de l'hydroxyde compacte. (François, *Recherches*, etc., p. 132.)

6. Hématite de DAX (*Landes*); concrétionnée, noire et brillante à la surface; texture fibreuse; poussière couleur brun foncé. (Rivot, t. III, p. 449.)

7. Minerai de PALAYRAC (*Aude*); hématites brunes et hydroxydes peu manganésifères, gîtes en amas à la limite des terrains de transition supérieurs et à la base du terrain crétacé; *a* et *b*. analyses de Tobler, au laboratoire de Moresnet; 1862.

8. Minerai d'AYTUA (*Pyrénées-Orientales*), notre analyse; 1862.

9. Minerai de LAS CAMPAS (*Pyrénées-Orientales*), notre analyse; 1862.

10. Minerai d'ESCARO (*Pyrénées-Orientales*), *a* et *b*. nos analyses; 1862; *c*. analyse faite à Moresnet, 1861, sur le filon du ravin.

11. Mine noire d'ESCOUMPS (*Pyrénées-Orientales*); *a*. notre analyse; 1861; *b*. de Moresnet, sur deux échantillons distincts.

Les minerais des n°s 8, 9, 10 et 11 sont des variétés d'hématite associée à des hydroxydes et à des fers spathiques décomposés; d'une teinte brune plus ou moins rougeâtre, plus ou moins noirâtre, tachant les doigts, et que l'on rencontre indistinctement à l'étage inférieur du terrain de transition, adossé au granit, et particulièrement dans un calcaire métamorphique alternant avec les schistes.

12. Minerai de FILLOLS (*Pyrénées-Orientales*); hématites mélangées d'hydroxydes manganésifères, d'oligiste et d'hydrates; teinte ocreuse foncée; un peu brunâtre. (Notre analyse.)

TABLEAU III. — PEROXYDE

	MINERAIS HYDRATÉS										
	1.	2		3.	4.	5.	6			7	
		a.	b.				a.	b.	c.	a.	b.
Peroxyde de fer....	57.25	62.60	64.50	67.00	50.00	77.00	35.50	27.80	25.50	86.25	86.10
Oxyde de manganèse	3.50	»	»	1.80	»	3.40	»	»	»	»	»
Chaux............	10.00	»	»	»	»	»	1.00	»	0.40	traces	traces
Magnésie..........	2 00	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Alumine...........	1.60	»	»	»	»	1.20	44.00	52.00	57.40	1.05	0.95
Silice	»	»	»	»	»	»	5.50	»	2.80	»	»
Argile............	4.00	3.20	6.50	18.60	42.50	4.00	»	»		0.33	0.43
Quartz............	»					»	»	»		»	»
Soufre............	»	»	»	»	»	»	»	»	3.10	»	»
Oxyde de zinc......	»	17.20	15.00	»	»	»	»	»	(1)	»	»
Acide phosphorique..	»	»	»	»	»	»	»	»		»	»
Eau et acide carbon..	21.00	17.00	14 00	10.20	7.00	14.40	13.50	20.20	10.80	»	»
Perte au feu........	»	»	»	»	»	»	»	»	»	12.36	12.00
	99.35	100.00	100.00	97.60	99.50	100.00	99.50	100.00	100.00	99.99	99.48
Fer à l'essai...	»	45.20	44.50	47.00	»	»	»	16.80	»	49.06	50.44

(1) Titane.

1. Minerai hydraté de Meboudja (*Algérie*), compacte, brun dans certaines parties, et presque noir dans d'autres; cassure nullement fibreuse, ayant par places un éclat résineux. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 450.)

2. Minerai d'Angleur, près de Liége (Belgique); compacte, un peu caverneux, nuancé de rouge et de jaune. Il fait effervescence avec les acides; la silice est à l'état gélatineux. C'est un mélange de peroxyde, de silicate et de carbonate de zinc; *a.* analyse de Berthier (*Traité des Essais*, t. II, p. 227); fonte d'un gris clair; *b.* analyse de Montefior (Valerius, t. II, p. 125); fonte truitée.

3. Hydrate compacte de Bendorf (rive droite du Rhin) d'un brun jaunâtre, mêlé de quartz. Ce minerai est mêlé au fer spathique pour obtenir de la fonte grise. (Berthier, t. II, p. 226.)

4. Minerai compacte de Vandenesse (*Nièvre*), d'un brun clair, à cassure luisante; avec de petites cavités tapissées de cristaux de quartz hyalin. Ce minerai fait partie de la formation dite d'alluvion; il donne de bon fer. (Berthier, t. II, p. 227.)

5. Minerai hydraté de la carrière Rattier (*Aveyron*), d'un brun très-foncé; presque noir dans certaines parties; cassure esquilleuse; poussière d'un brun foncé; se rapproche beaucoup de l'hématite par sa composition. (Rivot, t. III, p. 450.)

6. Minerai alumineux des Baux, près d'Arles (ou *bauxite*), en grains irréguliers d'un brun rougeâtre; se dissout entièrement dans les acides avec effervescence nulle ou très-faible; trop pauvre pour être traité comme minerai de fer. La potasse liquide enlevant toute l'alumine, les variétés tenant le moins de silice servent à fabriquer l'alumine; *a* (Rivot, t. III, p. 450); *b* (Berthier, t. II, p. 225); fonte disséminée en grosses grenailles; *c.* analyse de Brivet (Washington, *Aluminium Works*, 1863.)

7. Minerai hydraté de Leucate (*Aude*) en amas dans le terrain crétacé, au contact d'un lambeau de terrain jurassique; *a. b.* provenant de Leucate; *c.* de Treilhet; fonte blanche et cassante. Analyses de l'Ecole impériale des mines.

8. Hydroxyde compacte de Rancié (*Ariége*); *a.* hydroxyde avec quartz carrié blanc et chaux car-

DE FER HYDRATÉ.

COMPACTES.							MINERAIS CLOISONNÉS ET GÉODIQUES.						
7 c.	8			9.	10		11.	12	13.	14.	15.	16	
	a.	b.	c.		a.	b.						a.	b.
89.00	67.00	56.00	65.00	77.60	68.80	51.00	69.50	68.00	81.30	75.40	67.00	72.50	80.20
»	1.50	0.40	5.20	2.10	1.60	0.60	»	»	»	»	»	»	»
»	2.80	4.20	»	»	2.00	0.80	3.50	»	»	»	»	traces	0.60
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»		
1.10	0.60	1.00	»	»	1.80	1.00	»	»	1.20	»	»	3.10	2.20
»	»	»	»	»	2.20	5.60	»		»	»	»	»	»
1.34	10.00	»	»	11.43	»	»	12.00	21.00	5.00	12.80	19.40	»	»
»		16.00	10.80		»	»						9 00	2.25
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0.35	0.45
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	0.20	1.55	0.60	»	0.25	»	»
»	»	»	»	»	»	»	14.00	14.10	11.00	11.80	13.20	»	»
8.56	18.00	23.00	19.00	8.85	23.20	41.00	»	»	»	»	»	15.00	14.30
100.00	99.90	100.60	100.00	99.98	99.60	100.00	99.20	99.65	99.10	100.00	99.83	99.95	100.00
50.92	46.45	38.83	45.07	53.87	47.67	35.00	»	»	»	53.00	»	50.00	55.00

bonatée ; *b.* variété plus chargée d'argile et de carbonate des chantiers de l'Auriette ; *c.* variété poreuse, riche en argiles manganésées (François, *Recherches*, etc., p. 133.)

9. Minerai de Fréchet (*Ariége*), **hydroxyde compacte, provenant de la décomposition des pyrites dans les schistes modifiés. (François, *id.*, p. 105.)**

10. Fer hydroxydé d'Artigues (*Ariége*); **mamelonné ; même provenance que le n° 9 ; *a.* minerai** compacte pris dans l'intérieur de la masse ; *b.* pris sur la croûte à la surface. (François, *id.*, p. 106.)

Les minerais n°s 7 à 10 sont traités par la méthode catalane.

11. Minerai géodique d'Attignéville (*Vosges*), en rognon ellipsoïdal ; vide, tapissé de sable ; oxyde de fer d'un brun foncé à éclat résineux ; cassure légèrement fibreuse. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 451.)

12. Minerai cloisonné de Boulogne-sur-Mer ; presque compacte ; d'un brun très-foncé ; criblé de petites cavités vides. (Rivot, t. III, p. 451.)

13. Minerai cloisonné de Régnéville, près Coutances (*Manche*) ; presque compacte, criblé de petites cavités ; de couleur variant du brun foncé au brun rouge et jaune dans le même morceau ; poussière brune. (Rivot, t. III, p. 451.)

14. Minerai des Arques (*Lot*), en masses tuberculeuses, criblées de cavités irrégulièrement arrondies ou compactes et pénétrées de grains de quartz. Les morceaux qui ne renferment pas de quartz sont seuls traités. (Berthier, t. II, p. 226.)

15. Minerai géodique de Vinhund (*Puy-de-Dôme*) ; d'un brun très-foncé ; cassure d'une texture cristalline ; cavités tapissées d'argile sableuse, jaunâtre. (Rivot, t. III, p. 451.)

16. Hydroxydes de *Saône-et-Loire*, concrétionnés, globuliformes et caverneux ; *a.* d'un brun résinoïde, enduit d'une poussière rougeâtre avec irisations ; fonte blanche, cassante, très-sulfureuse ; *b.* en roche, jaune brun, criblé de fissures à parois irisées ou d'un gris métallique particulier, à gangue quartzeuse ; donne une fonte blanche à grandes lames, très-cassante et très-sulfureuse. Par un grillage énergique ces minerais acquièrent une couleur rouge vif. (Nos analyses.)

TABLEAU IV. — PEROXYDE

	MINERAIS RÉSINEUX.							MINERAIS		
	1.	2.		3.		4.	5.	6.	7.	8 a.
		a.	b.	a.	b.					
Peroyde de fer	68.35	51.20	41.00	72.50	76.30	77.40	73.00	60.01	65.18	73 00
Oxyde de manganèse	»	5.10	16.40	»	0.30	3.25	17.00	»	»	»
Chaux	1.65	»	»	»	»	2.00	»	0.04	0.15	»
Magnésie	»	»	»	»	»	»	»	0.20	0 10	0.50
Alumine	0.75	1.25	»	2.30	»	2.60	»	3.49	3.78	0.50
Silice	0.60	0.15	»	1.25	»	1.50	»	26.46	21.10	»
Acide phosphorique	1.15	0·50	0.50	1.30	1.40	0.50	»	0.04	0.44	»
Acide arsénique	0.55	0.30	0.30	0.10	»	0.05	»	»	»	»
Bisulfure de fer	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0.50
Argile	17 60	29.45	31.00	9.00	9.60	4 00	»	»	»	»
Quartz ou sable	»	»	»	»	»	»	»	»	»	10.50
Eau, acide carbonique	8.90	11.40	11.40	12.40	12.40	8.00	10.00	9.34	9.81	15.00
Carbonates	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	99.55	99.85	100.60	98.85	100.00	99.30	100.00	99.58	100.56	100.00
Fer à l'essai	»	»	29.60	»	53.60	»	»	»	»	»

1. Minerai de PAFFENDAL (*Moselle*), brun foncé; éclat résineux; criblé de cavités tapissées de quartz blanc et terreux. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 455.)

2. Minerais de BOURG-LASTIC (*Puy-de-Dôme*); presque compactes, amorphes, d'une couleur très-variable, entre le brun jaunâtre, le brun rougeâtre et le noir; éclat résineux très-prononcé; *a*. analyse de M. Rivot. (*Docimasie*, t. III, p. 455); *b*. analyse de Berthier. (*Traité des Essais*, t. II, p. 227.) Les minerais provenant d'un grand nombre de veines et de filons dans les roches primitives donnent du mauvais fer.

3. Minerais de FAVEROLLE (*Corrèze*); presque compactes, à cassure inégale, d'un brun foncé et terne ou d'un brun noirâtre, résineux; ils donnent à l'essai de la fonte blanche à grain fin et cassante. *a*. analyse de M. Rivot (*Docimasie*, t. III, p. 455); *b*. analyse de Berthier. (*Traité des Essais*, t. II, p. 227.)

4. Minerai de FONTAINIEUX, près de *Marseille*; brun très-foncé, cassure esquilleuse d'un éclat presque résineux; criblé de cavités irrégulières, tapissées d'une matière blanche terreuse, faisant une vive effervescence par les acides. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 435.)

5. Hydrate manganésifère de NEMOURS (*Seine-et-Marne*), compacte, à cassure luisante, résineuse et noire comme celle de la houille, disséminé en veinules et en plaques minces, dans le grès tertiaire. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 227.)

N. B. Les nos 1 à 5 contiennent des traces de sulfate de chaux.

6. Minerais hydratés de MERSCH (*Luxembourg*) (limonite); hydrate globuliforme, en grains arrondis, dans les dépôts superficiels reposant sur le deuxième étage liasique; parfois à texture testacée ou compacte et brunâtre, luisant à la surface, avec matières organiques.

7. Minerais hydratés de MAMER (*Luxembourg*); mêmes caractères que n° 6. Analyses de Reuter (Valérius, *Traité de la fonte*, p. 171.)

8. Minerais de la CAMPINE (limonite).

a, Hydrate des prairies de CAPPELLEN (*Anvers*), en grains, très-fusible, brun noirâtre ou brun rougeâtre à l'extraction, devient jaune à l'air : *b*, Hydrate des environs de DIEST. Analyses de Bidaut. (Valérius, *Traité de la Fonte*, t. II, p. 177.)

9. Minerai de DOLE (*Jura*); grains arrondis, très-petits, rouges, disséminés dans une argile de même couleur; employé comme fondant; fonte grise un peu malléable. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 223.)

DE FER HYDRATÉ.

EN GRAINS.

8 *b*.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.
53.80	57.90	31.50	69.00	68.50	63.80	48.50	57.50	46.40	54.00	55.00	43.40	63.70	35.00
»	»	2.90	»	»	»	»	»	»	»	»	15.00	0.70	»
0.80	»	»	»	»	»	»	1.10	»	4.00	»	»	»	»
0.10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1.20	12.50	2.00	7.00	11.10	1.20	3.25	2.60	7.60	3.25	3.25	3.20	3.10	2.00
»	»	0.25	7.20	»	3.20	1.50	1.40	36.80	1.10	1.50	23.00	6.40	1.00
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	3.00	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1.10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	16.60 }	53.60	»	9.40	Eau	35.00	18.00	»	23.60	23.60	»	»	51.60
31.20	» }												
11.80	13.00	9.30	16.00	16.00	14.40	11.20	17.70	9.20	13.50	16.50	15.40	14.00	9.70
»	»	»	»	»	15.80	»	»	»	»	»	»	7.00	»
100.00	100.00	99.55	99.20	100.00	98.40	99.45	99.20	100.00	99.45	99.85	100.00	97.90	99.30
»	40.00	»	»	»	»	»	»	31.10	»	»	»	»	»

10. Minerai en grains de SCHWABWEILER (*Bas-Rhin*); grains très-irréguliers, brun noirâtre ou brun jaunâtre; la proportion de manganèse varie; ce minerai est traité à l'usine de Niederbronn. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 452.)

11. Minerai en grains de MONT-GIRARD, près de Saint-Dizier (*Haute-Marne*); grains de moyenne grosseur, employé au fourneau de Bienville. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 227.)

12. Minerai en grains de MAUPAS, près de Saint-Dizier; en grains arrondis, faiblement agglomérés entre eux; employé au fourneau de Bienville. (Berthier, *idem*.).

N. B. Les minerais nos 11 et 12 sont de très-bonne qualité; l'alumine s'y trouve à l'état d'hydrate, qui nécessite l'addition à la castine. pour la fonte, d'*herbue* ou sable quartzeux.

13. Minerai en grains de LATRECY (*Haute-Marne*); mine noire en petits grains arrondis, d'un beau noir dû à un mélange de matière combustible; calciné en vase clos, il devient magnétique. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 227.)

14. Minerai en grains de COSNE (*Nièvre*); grains arrondis et irréguliers; couleur variable entre le brun et le jaune. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 452.)

15. Minerai en grains de LA CHAPELLE (*Nièvre*); grains assez gros, très-irréguliers, d'un brun jaunâtre. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 452.)

16. Minerai des BRUÈRES (*Nièvre*); grains amorphes, d'un jaune brun; d'excellente qualité, désigné comme *mine chaude*; fonte gris clair et tenace. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 227.)

17. Minerai en grains de VOUGEOT (*Côte-d'Or*); grains très-petits, bien arrondis et bruns. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 452.)

18. Minerai en grains de DUN-LE-ROY (*Cher*); grains ronds, à peu près réguliers, de la grosseur du chènevis, empâtés dans une argile ferrugineuse presque aussi riche que les grains. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 452.)

19. Minerai de la RAQUINERIE (*Cher*); grains de la grosseur d'un pois, d'un brun foncé. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 227.)

20. Minerai en grains de BUISSON-COLLOT (*Yonne*); grains très-fins, dits *graine de lin*; donnant du fer cassant. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 230.)

21. Minerai en grains de BRIOUDE (*Haute-Loire*); grains arrondis, de dimensions un peu variables, d'un brun rougeâtre; poussière un peu rouge. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 452.)

TABLEAU V. — [illegible]

MINERAIS EN [illegible]

	1.	2 a.	2 b.	3 a.	3 b.	4	5.	6.	7.	8.	9 a.	9 b.	9 c.
Protoxyde de fer.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	15.70	3 24	[illegible]
Peroxyde de fer..	61.00	29.00	60.50	63 00	62.00	46.00	30.60	40.00	58 70	62.15	70.00	56.90	[illegible]
Oxyde de mang.	»	»	»	»	»	2 60	1 00	1.50	1.60	0.75	»	1.65	[illegible]
Chaux..........	»	36.00	10.00	9.00	7.00	36.00	38 40	10 80	0.90	»	»	0.40	[illegible]
Acide carbonique	»								»	»	»	»	[illegible]
Magnésie........	»	»	»	»	»	»	0 80	0.20	0.85	0.80	»	»	[illegible]
Alumine.........	12.00	»	»	»	»	0.80	0.80	0.80	2.10	3.75	5 00	5.60	[illegible]
Argile..........	»	21.00	15.00	16.00	20.00	8.00	16 00	34.00	21.33	14 66	2 40	2.61	[illegible]
Silice..........	12.00	»	»	»	»	»					4.60	14 00	[illegible]
Quartz	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»		[illegible]
Acide phosphor..	»	»	»	»	»	»	0.34	0.20	0.16	0.12	»	»	[illegible]
Eau et acide carb.	15.00	14.00	14.50	12.00	11.00	6.00	12.00	12 40	13.99	17.71	1.60	15.60	[illegible]
Perte	»	»	»	»	»	0.60	0.06	0.04	0 37	0.06	»	»	[illegible]
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.30	100.00	[illegible]
Fer à l'essai..	»	20.00	41.50	44.00	43.00	31.00	»	25.00	41.09	43.50	50.00	42 35	[illegible]

(*) Carbonate de sesquioxyde de fer. (**) Carbonates de chaux et de magnésie.

1. Minerai de Pagès, près de Bruniquel (*Tarn-et-Garonne*) ; en gros grains arrondis; donne du fer d'ex[illegible] lente qualité. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 229.)

2. Minerai de Chanteloup (*Cher*) ; *a.* mine de la Grande-Vallée; *b.* mine des Razoirs.

3. Minerai de Saint-Florent (*Cher*); *a.* mine de Fonds; *b.* mine des Baguettes. Minerais hydroxydés [illegible] grains agglutinés. (Nos 2 et 3, analyses de l'Ecole des mines.)

4. Minerai de Septfontaines (*Haute-Saône*); hydrate pisiforme, appartenant au terrain du grès vert [illegible] l'exploite pour le fourneau de Seveux.

5. Minerai d'Oppenans (*Haute-Saône*); oolithe miliaire, avec ciment argilo-calcaire; abandonné à cause [illegible] sa teneur en phosphore; se trouve en couches dans la partie inférieure du terrain jurassique.

6 Minerai de Villemenfroy (*Haute-Saône*) ; oolithe miliaire disséminée dans une marne endurcie, du troi[illegible] sième étage jurassique, traitée à Ronchamp.

(Les analyses nos 4, 5 et 6 sont de MM. Thirria et Ebelmen. *Ann. des Mines*, 1839).

7. Minerai d'Hevillers (*Haute-Marne*) ; hydroxydes terreux, à grains non compactes; notre analyse.

8. Minerai de Cheminon (*Haute-Marne*); hydroxydes terreux, à grains non compactes ; notre analyse.

9. Minerai de Narcy (*Haute-Marne*) ; *a.* et *b.* grains magnétiques, petits, aplatis, d'un brun jaunâtre [illegible] *c.* oolithe miliaire, disséminée dans l'argile à la partie supérieure du terrain crétacé. Ces minerais donnent, dans les environs de Saint-Dizier, des fontes blanches et serrées.

(*a.* analyse de Berthier, *Traité*, t. II, p. 231 ; *b.* notre analyse ; c. analyse de MM. Thirria et Ebelmen *Ann. des Mines*, 1839).

10. Minerai de Sommevoire (*Haute-Marne*) ; oolithe miliaire ; mêmes caractères que le no 9, *c.*

11. Minerai de Bettancourt (*Haute-Marne*) ; en plaquettes géodiques, accompagnées de sables, de grès [illegible] d'oolithe, disséminés dans une marne sableuse, à la partie inférieure du terrain jura-crétacé.

12. Minerai de Chantonrupt (*Haute-Marne*) ; même caractères que no 11.

(Les analyses nos 10, 11 et 12 sont de MM. Thirria et Ebelmen. *Ann. des Mines*, 1839).

13. Minerai d'Eurville (*Haute-Marne*); *a.* dur, brun foncé; grains empâtés dans une argile ferrugineuse et calcaire, avec débris coquilliers; forme une couche puissante et très étendue, à peu de profondeur [illegible]

HYDRATÉ.

IQUES ET SILICEUX.													OCRES.		
12.	13		14.	15.	16.	17		18		19.	20		21.	22.	23.
	a.	b				a.	b.	a.	b.		a.	b			
»	»	»	»	15.80	»	»	36.20	0.88	0.80	»	»	»	»	»	»
68.00	60.00	58.20	34.80	67.30	63.40	65.00	40.30	48.00	34.00	44.00	35.20	54.00	28.00	23.00	23.00
2.80	»	»	»	»	»	»	(*)	»	»	»	»	»	»	»	»
5.20	5.10	»	1.80	»	3.60	5.30	11.00	29.40	29.00	50.00	»	»	traces	2.50	traces
	»	»			»	»		(**)	(**)		»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»			»	»	»	»	»	»
1.60	5.20	2.80	»	7.00	1.10	0.60	3.80	»	»	»	0.60	1.10	6.50	3.25	4.50
6.60	»	»	34.40	2.00	»	»	»	7.80	22.40	6.00	»	»	48.00	58.05	50.40
»	10.50	24.00	»	2.00	3.00	2.20	6.00	3.00	4.00	»	2.50	3.50	11.60	4.60	7.60
	2.00		»	»	13.80	9.00	»	»	»	»	32.10	28.30	»	»	»
0.22	0.30	»	0.20	»	0.55	traces	traces	»	»	»	traces	0.40	»	»	»
14.80	16.40	15.00	12.60	6.40	14.65	17.35	2.50	9.80	9.40	»	9.20	12.50	5.60	8.60	14.50
0.78	»	»	»	»	»	»	»	1.42	0.40	»	»	»	»	»	»
100.00	99.50	100.00	100.00	100.00	99.60	99.45	99.80	100.00	100.00	100.00	99.60	99.80	99.70	100.00	100.00
45.00	»	»	23.60	60.40	»	»	»	33.50	23.80	»	»	»	»	»	»

Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 453); *b.* petits grains amorphes, mêlés de sable quartzeux; de bonne quanais difficiles à fondre. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 229.)

Minerai de Villebois (*Ain*); grains ronds très-petits, d'un jaune brun, agglomérés dans un calcaire griqui fait partie de la formation jurassique; couches très-étendues. On l'emploie dans plusieurs usines, il donne du mauvais fer. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 231.)

Minerai de Chatillon (*Côte-d'Or*); grains magnétiques, très-petits, disséminés dans un minerai en grains, s. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 231.)

i. Minerai d'Ars-sur-Moselle (*Moselle*); oolithique, rouge foncé, très-coquillier. (Rivot, *Docimasie*, t. III, 53.)

!. Minerai d'Hayanges (*Moselle*); *a.* brun jaunâtre, à peine aggloméré, se réduit en sable sous le doigt ot, *Docimasie*, t. III, p. 453.; *b.* gris bleuâtre, passant à l'air au gris foncé olivâtre; confusément oolile, à très-petits grains, très magnétique. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 232.)

3. Minerai du *Jura*; *a*, Métabief, hydrate en petits grains oblongs, d'un brun luisant, exploité dans un aire marneux pour les hauts fourneaux de Pontarlier; *b.* Bouchrans, analogue à *a.* exploité pour le neau de Montène. (Analyses de M. Thirria, *Ann. des Mines*, 1836.)

9 Minerai de Mont-de-Lazac (*Aveyron*); grains rouges très-petits, empâtés dans le calcaire jurassique; che puissante. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 224.)

0. Minerai de Boulogne-sur-Mer (*Pas-de-Calais*); *a.* et *b.* proviennent de deux couches différentes; l'une n jaune; l'autre brun très-foncé. (Rivot, *Docimasie*, t. III, p. 453.)

1. Ocre jaune de Boulogne-sur-Mer (*Pas-de-Calais*); couche peu puissante, très-compacte, d'un très-beau ne, contenant de 15 à 16 pour 100 de sable quartzeux très-fin.

22. Ocre jaune de Saint-George (*Cher*); couche peu puissante et de forme lenticulaire dans l'argile plastie; belle couleur jaune; grains très-fins.

23. Ocre rouge d'Aix; compacte, à grains très-fins; d'un rouge légèrement jaunâtre. L'oxyde de fer est à tat anhydre.

(Les analyses nos 21, 22 et 23 sont extraites du *Traité de Docimasie*, t. III, p. 453).

TABLEAU VI. —

	FER												
	1.	2.	3 a.	3 b.	3 c.	3 d.	4.	5.	6	7.	8 a.	8 b.	9 a.
Protoxyde de fer.	46.30	45.20	52.00	43.00	49.60	42 80	79.60	80.00	82.70	60 00	52.60	43.60	50.50
Oxyde de mang..	9.10	0.60	2.50	11.00	1 60	»	3.50	2.20	3.60	10 40	1.70	1.00	8 00
Chaux.........	»	»	»	»	»	»	»	»	0.70	5.20	1.00	»	1.70
Magnésie.......	4.50	12.20	5.50	2.30	8.10	15.40	1.00	1.40	»	»	3.60	12.80	0.70
Alumine	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Silice..........	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Acide phosphor..	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Arsenic........	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Argilo. / Quartz. gangue	1.40	»	»	5.70	»	»	» / * 4.80	» / * 4.40	» / * 3 20	» / * 8 60	2 20	»	1.00
Eau et acide carb.	38.40	40.40	40.00	38.00	40.70	41.80	11.40	12 00	9.70	13.90	37.20	42.60	38.10
Matières organ..	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	99.70	98.40	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	98.10	98.30	100.00	100.00
Fonte à l'essai.	39.00	»	»	»	38.20	34.80	»	»	62.20	42.00	40.00	35.00	45.00

* Quartz et silice gélatineuse.

1. Fer spatique de BENDORF (rive droite du Rhin, vis-à-vis de Coblentz, Prusse), minerai de première qualité, à grandes lames d'un blond clair, veiné de quartz blanc. Il donne dans les hauts fourneaux de la fonte blanche lamelleuse, éminemment propre à la fabrication de l'acier. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 256.)

2. Fer spathique d'AUTUN (*Saône-et-Loire*) ; à grandes lames, de couleur blonde. (Berthier, *Traité*, t. III, p. 256.)

3. Fer spathique d'ALLEVARD (*Isère*) ; *a.* écailleux, de couleur blonde un peu grisâtre ; variété dite *rives*, contenant des grains de pyrite cuivreuse ; filons assez puissants ; *b.* autre variété de couleur blonde ; *c.* variété dite *maillat mêlé* de la fosse du Rocher, à grandes lames mêlées de lames moyennes ; *d.* variété dite *maillat*, à grandes lames de couleur blonde.

4. Mine douce du FAYARD (*Isère*) ; connue sous le nom de *maillat brun*.

5. Mine douce de la FOSSE MAZET (*Isère*), près d'Allevard.

6. Mine douce de la GARGOUSSE (*Aude*) ; fonte gris clair et tenace.

7. Mine douce d'ARTICOLE (*Isère*).

8. Fer spathique de VIZILLE (*Isère*) ; *a.* filon de Pierre-Rousse, dans le gneiss micacé et parfois talqueux ; minerai à grandes lames d'un blond un peu violacé ; fonte d'un gris clair ; *b.* filon de la Grande-Fosse, minerai lamelleux, divisible en grands rhomboïdes, de couleur blonde, très-magnésien ; fonte d'un gris clair.

(Les analyses des n[os] 3 à 8 sont extraites du *Traité* de Berthier, t. II, p. 255 à 257.)

9. Fer spathique de SAINT-GEORGE D'HEURTIÈRES (*Savoie*) ; *a.* minerai du filon de la Grande-Fosse, à grandes facettes, d'un blond clair (Analyse de Berthier, *Traité*, t. II, p. 255) ; *b.* à texture écailleuse, fine et serrée, légèrement brillante, aux teintes gris bleuâtre, gris jaune et blanc nacré, veiné de petits filets quartzeux ; *b.* est le cœur du filon ; *c.* le toit ou mine grise (Analyses extraites du mémoire de M. Petitgand, sur les *Mines et usines de la Maurienne*, Paris, 1855). Le minerai de Saint-George, après avoir séjourné à l'air, donne des fontes très-régulières pour la fabrication de l'acier.

10. Fer spathique d'ESCOURLEGUY, près de Baigory (*Basses-Pyrénées*) ; de couleur blonde, à lames moyennes ; petit filon ; fonte d'un gris clair. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 255.)

CARBONATES DE FER.

SPATHIQUE.											MINERAIS DES HOUILLÈRES			
9		10.	11.	12		13.	14			15.	16.	17.	18.	19.
b.	c.			a.	b.		a.	b.	c.					
47.40	49.90	53.00	53.50	65.66	61.16	61.70	56.16	57.72	53.17	66.40	54.00	52.00	35.00	25.00
6.50	7.00	0.60	6.50	»	5.17	4.06	2.71	3.40	3.70	9.20	1.10	1.00	traces	2.40
9.00	2.70	»	»	1.50	0.16	0.21	2.10	1.90	2.30	traces	0.60	2.25	1.50	3.50
»	»	5.40	0.70	»	»	»	»	1.80	3.80	»	traces	0.75	»	5.60
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1.15	2.75	1.25
»	»	»	»	»	»	»	2.60	0.08	7.60	»	»	2.10	4.55	2.60
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1.50	0.10	0.55
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0.15	0.05	0.15
»	»	»	»	3.66	10.08	1.34	»	»	»	7.80	6.00	3.00	10.60	14.65
3.50	1.00	»	»								2.10	»	20.00	16.00
37.80	39.20	41.00	39.30	29.00	23.05	31.95	35.75	35.78	29.71	16.30	34.60	34.00	23.00	24.70
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1.60	2.10	2.45	3.60
99.20	99.80	100.00	100.00	99.82	99.62	99.26	99.32	100.88	100.28	99.20	100.00	100.00	100.00	100.00
»	»	45.00	»	36.00	40.00	43.21	43.68	44.80	41.35	50.00	»	»	»	»

11. Fer spathique de Rancié, près de Vic-Dessos (*Ariége*); en rognons ou en veines, au milieu du fer hydraté manganésifère; à lames moyennes, d'un blond assez foncé. (Berthier, *Traité*, t. II, p. 255.)

12. Fer spathique de Saborre (*Pyrenées-Orientales*), mélangé d'hydrate; blanc grisâtre, à petites écailles; dans le calcaire métamorphique, à l'étage inférieur du terrain de transition. *a.* analyse de l'Ecole des mines; fonte truitée, tenace; *b* (Notre analyse).

13. Fer spathique de Torren (*Pyrénées-Orientales*); blanc grisâtre, à lamelles, en masses puissante. (Notre analyse.)

14. Fer spathique du Guipuzcoa; *a. Saint-Emilia*; *b. Saint-Joaquin*; *c. Saint-Martial*; schistes adossés au granit. (Analyses de M. Schickedenz, d'Anvers.)

15. Fer spathique de Miasuri (mines de la Bidassoa); carbonate noir et violacé; analyse de l'Ecole des mines (l'oxyde de fer contient l'alumine).

16. Minerai carbonaté de la mine de Palmesalade (*Gard*); cristallin, presque noir; lamelles légèrement éclatantes; mouches très-rares de pyrite; couche de près de 2 mètres de puissance dans les grès du terrain houiller.

17. Minerai carbonaté de Bézenet (*Allier*); compacte, lithoïde, en rognons, lourd, d'un brun très-foncé, presque noir. Les rognons sont dans les schistes bitumineux à une faible distance de la grande couche de houille. Malgré leur teneur en fer, il est à peu près impossible, à cause de l'acide phosphorique que ce minerai renferme, de les traiter.

18. Minerai carbonaté d'Anzin (*Nord*); rognons compactes, à surface noire ayant l'éclat de la houille; à cassure terne. Les fontes ne donnent que quelques millièmes de phosphore.

19. Minerai carbonaté de Mouillon, près de Rive-de-Gier (*Loire*); plaquettes minces; texture presque compacte, un peu grenue; couleur gris foncé. Trop pauvre pour être traité; proportion assez forte d'acide phosphorique et de pyrite arsénicale.

(Les analyses des nos 16 à 19 sont extraites de la *Docimasie* de M. Rivot, t. III, p. 476).

Un plus grand nombre d'analyses, se reproduisant sur des minerais de même nature, ne nous semble pas nécessaire, d'autant que celles que nous pourrions ajouter, ne nous ont pas paru assez rigoureuses.

Comparativement aux minerais de la Grande-Bretagne, ce qui distingue les nôtres, c'est à la fois leur grande variété, leur richesse moyenne, la facilité de fusion et le bas prix de l'extraction. C'est à cet heureux concours de circonstances que la France doit principalement son rang dans l'industrie sidérurgique. Comme, en présence des traités de commerce, chaque nation applique sans relâche les perfectionnements de l'art, afin d'augmenter ses ressources naturelles, il est indispensable, aujourd'hui plus que jamais, de travailler à l'amélioration des conditions de transports dont les prix, malgré tous les efforts et tous les avis, sont encore bien trop élevés. Ce qui manque donc en France beaucoup plus que le combustible minéral, c'est le développement de voies de communication faciles et économiques.

FIN DU DEUXIÈME VOLUME.

ERRATA.

En revoyant les expériences de l'auteur (p. 174-181) sur la cémentation du fer par le charbon et l'oxyde de carbone, nous relevons quelques erreurs de chiffres qui sont le fait de l'auteur et des traducteurs. Ces nombres approximatifs n'expliquent pas ceux des pesées en grains et décimales de grains, convertis en grammes et leurs sous-multiples. Bien que ces différences soient sans importance sérieuse sur l'ensemble des résultats et les résultats eux-mêmes, il est utile de rétablir les nombres d'une manière rigoureuse ; tel est le but de ce tableau, où les chiffres de la colonne III sont calculés avec assez de décimales pour obtenir trois chiffres vrais à la colonne IV, pour 100.

I Nos DES EXPÉRIENCES ET PAGES.	II POIDS AVANT L'ESSAI.	III AUGMENTATION DE POIDS reconnue APRÈS L'ESSAI.	IV AUGMENTATION DE POIDS POUR 100.
	grammes.	grammes.	
1. Page 174	1.876	0.0006477	0.345
2. » 176	1.910	0.019110	1.001
3. » »	1.024	0.007125	0.696
4. » »	0.9968	0.010690	1.073
5. » 177	0.3501	0.001295	0.370
» »	0.3760	0.002915	0.775
6. » 178	0.5583	0.002915	0.562
7. » »	1.006	0.009392	0.933
8. » »	0.7841	0.002850	0.363
» »	0.4410	0.001749	0.397
9. » 179	0.3857	0.000972	0.252
» »	0.3595	0.004663	1.297
10. » »	0.6126	0.0006477	0.106
» »	0.6529	0.003368	0.516
11. » 180	0.5885	0.004145	0.704
» »	0.3255	0.003498	1.075
12. » »	0.5055	0.0006477	0.128
» »	0.4709	0.000907	0.193
13. » »	0.8608	0.0004534	0.0527
14. » »	0.6781	0.0002591	0.0382

